

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

18.10.2004

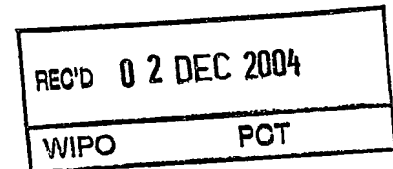
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年 1 0 月 2 0 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 3 5 9 9 3 8  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 3 5 9 9 3 8 ]

出 願 人            株式会社荏原製作所  
Applicant(s):

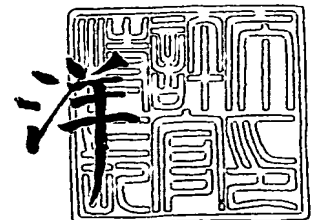


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 1 月 1 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願  
【整理番号】 EB3109P  
【提出日】 平成15年10月20日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G01B 07/06  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内  
    【氏名】 多田 光男  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所内  
    【氏名】 須藤 康成  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000000239  
    【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所  
    【代表者】 依田 正稔  
【代理人】  
    【識別番号】 100091498  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 渡邊 勇  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100092406  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 堀田 信太郎  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100093942  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 小杉 良二  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100109896  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 森 友宏  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 026996  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9112447  
    【包括委任状番号】 0018636

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルにより検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、

前記センサコイルは、高透磁率材料によって形成した収容部材内に収容されていることを特徴とする渦電流センサ。

**【請求項 2】**

前記収容部材が筒形状であることを特徴とする請求項 1 記載の渦電流センサ。

**【請求項 3】**

前記センサコイルは、前記導電性膜に渦電流を形成する励磁コイルと、前記導電性膜の渦電流を検出する検出コイルとからなることを特徴とする請求項 1 記載の渦電流センサ。

**【請求項 4】**

前記センサコイルは、さらにバランスコイルを備え、前記検出コイルと該バランスコイルとにより、検出出力のゼロ出力を自動的に調整可能としたことを特徴とする請求項 3 記載の渦電流センサ。

**【請求項 5】**

前記センサコイルは、導電性材料からなる研磨テーブルの内部に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の渦電流センサ。

**【請求項 6】**

導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルにより検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、

前記センサコイルは、導電性材料からなる研磨テーブルの内部に配置され、前記センサコイルの周囲が絶縁性材料によって埋め込まれていることを特徴とする渦電流センサ。

**【請求項 7】**

導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、

前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示し、前記インピーダンスの座標と指定された中心点の座標とを結ぶ直線の成す角度から前記導電性膜の膜厚を検出するようにしたことを特徴とする渦電流センサ。

**【請求項 8】**

前記角度により、前記センサコイルと前記導電性膜との間の距離にかかわらず、一定の膜厚が得られることを特徴とする請求項 7 記載の渦電流センサ。

**【請求項 9】**

前記指定された中心点は、前記センサコイルと前記導電性膜との間の距離にかかわらず、一定の膜厚が得られる点として、膜厚と膜厚に対応した抵抗成分 ( $X_m$ )、リアクタンス成分 ( $Y_m$ ) の較正データテーブルにより較正されたものであることを特徴とする請求項 7 記載の渦電流センサ。

**【請求項 10】**

導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、

前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示し、表示したインピーダンス座標を位相回転する手段と、平行移動する手段と、拡大表示する手段と

を備えたことを特徴とする渦電流センサ。

【請求項 11】

測定対象の導電性膜のインピーダンス座標が、他の導電性材料の影響を受ける場合に、該他の導電性材料のインピーダンス座標を位相回転し、座標の直交軸に合わせ、前記測定対象の導電性膜の座標の変化のみを拡大表示するようにしたことを特徴とする請求項 10 記載の渦電流センサ。

【請求項 12】

前記測定対象の導電性膜が半導体ウェハ上に形成されたバリア層、メタル膜であり、前記他の導電性材料が半導体ウェハであることを特徴とする請求項 11 記載の渦電流センサ。

【請求項 13】

導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、

前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示し、前記導電性膜の成膜条件に応じた補正係数を記憶する係数記憶手段を有し、前記測定対象の導電性膜の成膜条件に応じた前記係数記憶手段内の補正係数により当該導電性膜の膜厚の測定結果を補正する手段を備えたことを特徴とする渦電流センサ。

【請求項 14】

予め準備されている基準の導電性膜の膜厚を測定したときに、前記抵抗成分および前記リアクタンス成分の出力値が一定になるように装置各部が較正されていることを特徴とする請求項 10 乃至 13 のいずれかに記載の渦電流センサ。

【請求項 15】

導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、

前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上にインピーダンス座標として表示し、前記導電性膜は成膜または研磨処理の進行に伴い前記インピーダンス座標の軌跡が前記直交座標において半円上を移動することを特徴とする渦電流センサ。

【請求項 16】

前記半円上を移動する円弧の長さから、前記導電性膜の膜厚の変化を算定することを特徴とする請求項 15 記載の渦電流センサ。

【請求項 17】

前記円弧の長さは、測定対象の導電性膜の下に存在する基板の導電性の影響を受けないことを特徴とする請求項 16 記載の渦電流センサ。

【請求項 18】

x 軸、y 軸からみたインピーダンス変化が急峻に変化する軸を処理レシピで自由に選択可能にできることを特徴とする請求項 15 記載の渦電流センサ。

【請求項 19】

前記導電性膜の各膜厚に対するインピーダンス座標を、メインアンプのオフセット、増幅度、位相回転または極性選択により任意に設定できることを特徴とする請求項 15 記載の渦電流センサ。

【請求項 20】

処理中の導電性膜から得られる渦電流センサのインピーダンス座標を所定時間毎に計測し、インピーダンス特性とモデルデータとの対応関係に基づき、処理終点を検出することができ、また処理終点までの残り時間を予測することで、研磨プロセスの進行状態をモニタし、異常を早い内に発見するなどプロセス異常に対する予防管理ができるようにしたことを特徴とする請求項 15 記載の渦電流センサ。

**【請求項 21】**

前記導電性膜が形成される基板を保持する装置の導電性材料は、測定対象の導電性膜に発生させる渦電流に影響しない程度以上に隔離して配置されていることを特徴とする請求項 15 記載の渦電流センサ。

**【請求項 22】**

測定対象の導電性膜を複数のゾーンに分割して、これらゾーンの信号データから、最適ゾーンの単独、複数ゾーン全ての平均化、任意ゾーンの組合せの平均値、実効値、各データの 1 次、2 次、 $n$  次の時間微分値が、事前に指定した範囲、または以上、または以下になることにより処理終点を決める手段を備えたことを特徴とする渦電流センサ。

**【請求項 23】**

前記信号データは、渦電流センサまたはマイクロ波センサではエッジカット処理を行い、前記渦電流センサでは、インピーダンス成分  $X$ 、 $Y$ 、位相  $\theta$ 、合成インピーダンス  $Z$ 、周波数  $F$ 、これらから変換された膜厚値、マイクロ波センサでは反射、透過信号等の信号を含むことを特徴とする請求項 22 記載の渦電流センサ。

**【請求項 24】**

センサ信号の演算処理により計算された基準時間から金属膜が完全除去される終点時間を得るために、前記基準時間に対し係数を四則演算し、追加研磨時間を計算し、前記基準時間に加算して終点時間を決定する手段を備えたことを特徴とする請求項 22 記載の渦電流センサ。

**【請求項 25】**

前記請求項 1 乃至 24 のいずれかに記載の渦電流センサを備えたことを特徴とする基板処理装置。

**【請求項 26】**

前記請求項 1 乃至 24 のいずれかに記載の渦電流センサを備えたことを特徴とする基板研磨装置または基板成膜装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】渦電流センサ

【技術分野】

【0001】

本発明は渦電流センサに係り、特に半導体ウェハ等の基板の表面に形成した導電性膜の膜厚等を検出するのに好適な渦電流センサに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体基板上に配線回路を形成するために、銅めっきを行い、形成された銅めっき層のうち、不要部分を化学機械研磨（CMP）により除去し、銅配線層を形成するプロセスが知られている。このような場合に、化学機械研磨（CMP）において、銅めっき層の処理（研磨）の進行状況を正確に管理する必要がある。このような膜厚管理として、光学的センサを用いた方法や、導電性膜に生じる渦電流の大きさから導電性膜の膜厚を計測する渦電流センサを用いた方法等が知られている。

【0003】

光学的センサを用いた方法では、光が透過する範囲においては光の波長を基準として膜厚を計測するため、正確な膜厚の検出が可能である。ところが、例えば上述の化学機械研磨では、研磨中の半導体基板上の導電性膜の膜厚を検出するためには、研磨途中の基板を直接観測可能な位置に開口等を設ける必要がある。しかしながら、化学機械研磨装置にそのような開口を設けることは、装置の研磨特性上好ましいことではない。

【0004】

一方で、渦電流センサは、例えば化学機械研磨装置における研磨工具の内部に装着することも可能であり、研磨中の半導体基板の研磨の状況を非接触で研磨工具に開口等を設けることなく観測することが可能である。このことから、本出願人は、研磨パッドなどに窓を形成することなく、研磨中の半導体基板上の導電性膜の膜厚（研磨量）を非接触に測定することができ、しかもバリア層等の極薄の膜の研磨終点をも検出可能な渦電流センサを提案している（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2003-106805号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、この渦電流センサは、センサコイルをステンレスなどの導電性材料からなる研磨テーブル内に埋め込むと、センサコイルによる磁束がその研磨テーブル内に渦電流を発生させて、外部に出る磁束の強度が減衰してしまう。このような場合には、半導体ウェハなどの測定対象まで届く磁束が弱くなることから、その導電性膜に発生させる渦電流信号が小さくなり、感度が小さくなってしまう、という問題があった。

【0006】

また、この渦電流センサは、例えば、研磨装置に搭載される場合には、測定対象の導電性膜とセンサコイルとの間に研磨パッドが介在しており、この研磨パッドの厚さが変わるなど測定環境が変化してしまうと、そのセンサ信号が変化する。このことから、渦電流センサでは、このような測定環境をパラメータの一つとしつつ、膜厚を導出しなければならず、その処理が煩雑で煩わしい、という問題があった。

【0007】

また、測定対象の導電性膜が極薄の場合には、半導体ウェハなどの基板内に発生する渦電流を無視することができなくなる。このことから、渦電流センサでは、極薄の導電性膜の膜厚を測定するには、基板という測定環境による影響を考慮しつつ、膜厚を導出しなければならず、その処理が煩雑で煩わしい、という問題があった。

【0008】

本発明は、上述した事情に鑑みて為されたもので、測定環境の影響を受けることを低減し、微細な導電性膜を高精度で且つ簡易に測定することができる渦電流センサを提供する

ことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決する本発明の渦電流センサは、導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルにより検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、前記センサコイルは、高透磁率材料を筒形状もしくは前記センサコイルを略とり囲む形状に形成した収容部材内に収容され、前記収容部材は、前記センサコイルが前記導電性膜に渦電流を発生させるのに有効な磁束の経路を構成することを特徴とするものである。ここで、前記センサコイルは、前記導電性膜に渦電流を形成する励磁コイルと、前記導電性膜の渦電流を検出する検出コイルとからなることが好ましい。また、前記センサコイルは、さらにバランスコイルを備え、前記検出コイルと該バランスコイルとにより、検出出力のゼロ点を自動的に調整可能とすることが好ましい。ゼロ点を調整することにより測定対象の導電性膜の厚さに対する変化信号のみを増幅して検出することができる。

【0010】

この発明によれば、センサコイルからの磁束は、センサコイルの周囲に位置する高透磁率材料の収容部材内を通して測定対象の導電性膜内を通過する経路（磁路）を採ることができる。したがって、設置環境の部材内に磁束が通って減衰させてしまうことがなく、測定対象の導電性膜の内部には、センサコイルによる渦電流を効率よく発生させることができ、導電性膜の膜厚を感度よく測定することができる。

【0011】

また、本発明の渦電流センサの他の形態は、導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示し、前記インピーダンスの座標と指定された中心点の座標とを結ぶ直線の成す角度から前記導電性膜の膜厚を検出するようにしたことを特徴とするものである。前記角度により、前記センサコイルと前記導電性膜との間の距離にかかわらず、一定の膜厚が得られることを特徴とするものである。また、前記指定された中心点は、前記センサコイルと前記導電性膜との間の距離にかかわらず、一定の膜厚が得られる点として較正されたものであることが好ましい。

【0012】

この発明によれば、異なる測定環境毎の導電性膜の膜厚に応じた抵抗成分およびリアクタンス成分の出力値に基づいて  $x-y$  座標上に予備測定直線を引くと、その導電性膜の膜厚毎の予備測定直線は、測定環境に拘わらずに、1つの交点で交差する。このことから、未知の測定環境において、測定対象の導電性膜の膜厚を測定する際にも、その導電性膜に発生する渦電流信号の抵抗成分およびリアクタンス成分の  $x-y$  座標上の出力値と先に取得した交点とを結ぶと、本番測定直線を得ることができ、本番測定直線の勾配（基準線との間の挟角）を、導電性膜の膜厚に応じた予備測定直線の勾配（基準線との間の挟角）と比較すれば、その測定対象の導電性膜の膜厚を容易に導出することができる。したがって、パッド膜厚の影響を受けることなく、渦電流センサにより、測定対象の導電性膜の膜厚を簡易かつ迅速に測定することができる。

【0013】

また、本発明の渦電流センサの他の形態は、導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、該センサコイルに交流信号を供給して前記導電性膜に渦電流を形成する信号源と、前記導電性膜に形成された渦電流を前記センサコイルから見たインピーダンスとして検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示し、前記インピーダンスの座標を位相回転する手段を備えたことを特徴とするものである。前記導電性膜のイ

ンピーダンスの座標が、他の導電性材料の影響を受ける場合に、該他の導電性材料のインピーダンスの座標を位相回転し、前記直交軸に合わせ、前記導電性膜の座標の変化のみを拡大表示することが好ましい。

#### 【0014】

この発明によれば、他の導電性材料（基板）に発生する渦電流信号の抵抗成分およびリアクタンス成分の $x$   $y$ 座標上の出力値を $x$ 軸または $y$ 軸に一致させる位相回転角度を取得しておき、測定対象の導電性膜の膜厚を測定する際には、その測定で発生する渦電流信号の抵抗成分およびリアクタンス成分の $x$   $y$ 座標上の出力値を予め取得した角度分だけ位相回転させると、他の導電性材料（基板）に発生する渦電流信号の抵抗成分およびリアクタンス成分をキャンセルすることができる。したがって、他の導電性材料（基板）による影響なく、渦電流センサにより、測定対象の導電性膜の膜厚を高精度に測定することができる。このとき、測定対象の導電性膜が他の導電性材料（基板）による影響があるほど薄膜の場合に、位相回転させる処理を行うことにより、精度の必要な測定のときのみの処理にすることができ、いたずらに膜厚測定処理を煩雑化してしまうことを回避することができる。

#### 【0015】

また、前記基板を保持する装置の導電性材料は、測定対象の導電性膜に発生させる渦電流に影響しない程度以上に離隔させていることが好ましい。また、前記導電性膜の成膜条件に応じた補正係数を記憶する係数記憶手段を有し、前記測定対象の導電性膜の成膜条件に応じた前記係数記憶手段内の補正係数により当該導電性膜の膜厚の測定結果を補正する手段を備えることが好ましい。

#### 【0016】

また、前記インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上にインピーダンス座標として表示し、前記導電性膜は処理の進行に伴い前記インピーダンス座標の軌跡が前記直交座標において半円上を移動し、前記半円上を移動する円弧の長さ（円弧長）から、前記導電性膜の膜厚の変化を算定することを特徴とするものである。ここで、前記円弧の長さ（円弧長）は、測定対象の導電性膜の下に存在する基板の導電性の影響を受けず、例えば下地シリコン基板が低抵抗の基板であっても、この影響を受けることなく、金属膜、およびバリア層等の高抵抗の導電性膜の膜厚検出が可能となる。

#### 【0017】

また、予め準備された基準の導電性の膜厚を有するウェハを測定し、各膜厚に対するインピーダンス平面座標上に各膜厚に対する円弧軌跡の基準点と終点を指定の座標（ $x$ ,  $y$ ）値に調整することで、装置間の固体差をキャンセルできる。また、予め準備されている基準の導電性膜の膜厚を測定したときに、前記抵抗成分および前記リアクタンス成分の出力値が一定になるように装置各部が較正されていることが好ましい。また、研磨装置等の処理装置は、上記のいずれかの渦電流センサを備えることが好ましい。また、成膜装置も、上記のいずれかの渦電流センサを備えることが好ましい。

#### 【発明の効果】

#### 【0018】

本発明によれば、測定環境による影響を低減して、渦電流センサによる導電性膜の膜厚測定等を簡易かつ迅速に行うことができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0019】

以下、本発明の実施形態について添付図面を参照して説明する。図1乃至図18は本発明に係る渦電流センサの一実施形態を示す図である。

#### 【0020】

図1（a）は、この渦電流センサ200を備えた基板研磨装置の要部構成を示す縦断面図であり、図2はその平面図である。図1（a）に示すように、基板研磨装置の研磨テーブル100はSiC等のセラミック材、またはステンレス（SUS）やアルミ等の金属材料で構成され、矢印で示すようにその軸心まわりに回転可能になっている。この研磨テー



ル100内には、センサコイル202が埋め込まれている。このセンサコイル202は、プリアンプ一体型でもよく、またプリアンプ202p等を別体としてもよい。センサコイル202の接続ケーブルは、研磨テーブル100の研磨テーブル支持軸321a内を通り、研磨テーブル支持軸321aの軸端に設けられたロータリジョイント334を経由して、ケーブルによりメインアンプ200aを介して渦電流センサ本体のコントロール部200bに接続されている。

#### 【0021】

ここで、渦電流センサ本体のコントロール部200bには、LPF、BPF、HPF、ノッチフィルタ等のアナログフィルタ、ソフト処理によるデジタルフィルタがセンサ信号の雑音成分を除去するために設けられている。各種フィルタは、それぞれに応じたカットオフ周波数が設定されており、例えば、ローパスフィルタのカットオフ周波数を0.1～1KHzの範囲で設定することにより、研磨中のセンサ信号に混在する雑音成分を除去して測定対象の膜厚等を高精度に測定することができる。

#### 【0022】

図1(b)は、渦電流センサ部分の拡大断面図である。研磨テーブル100に埋め込まれたセンサコイル202の研磨パッド101側の端面にはフッ素系樹脂の202mを有することで研磨パッドをはがす場合に、研磨パッドと渦電流センサ200が共にはがれてこないようにできる。また渦電流センサの研磨パッド側の端面は研磨パッド101近傍のSiCまたはステンレス(SUS)やアルミなどの材料で構成された研磨テーブル100の面(研磨パッド側の面)からは0～0.05mm凹んだ位置に設置され、パッドはふくまないうようにしてプロセスに影響を与えない。この研磨テーブル面と渦電流センサ面の位置の差はできる限り小さい方がよいが実際の装置では0.01mm前後に設定することが多い。またこの位置調整にはシム(薄板)202nによる調整やネジによる調整手段が取られる。

#### 【0023】

ここで、センサコイル202と渦電流センサ本体のコントロール部200bを接続するロータリジョイント334は、回転部においても信号を伝送することはできるが、伝送する信号線数に制限がある。このことから、接続する信号線は、この実施形態では8本に制限され、DC電圧源、出力信号線、および各種制御信号の伝送線のみに限られる。なお、一本の制御線のなかに、判別DC電圧、変調周波数、一ビットのデジタル信号等をこの制御線に乗せて、ロータリートランスを経由してプリアンプ回路に伝達する。前項の制御信号をプリアンプ回路の入力部で判定処理することにより、このセンサコイル202のコイルバランスの指示信号、研磨対象の膜質に応じてプリアンプ内部の発振周波数を2から8MHzの範囲での切り替え、RF電圧増幅のゲインも切り替え可能となっている。また信号伝送を無線にて行うことで信号線数の制限を無くすることも可能である。

#### 【0024】

この研磨テーブル100の回転は、図2に示すように、その研磨テーブル100の外周面に取り付けられたドグ351をドグセンサ350が検出するようになっており、ドグセンサ350からの検出信号により、トップリング1の保持する半導体ウェハWの信号処理を開始する。すなわち、研磨テーブル100の回転に伴って、センサ軌跡Rが半導体ウェハWを横切るようにトレースする。

#### 【0025】

このことから、研磨テーブル100が1周する間に、まずドグセンサ350からの信号を受け取る。この時は、まだセンサコイル202上には半導体ウェハWが来ていないので、ウェハ外の信号を受け取る。その後、半導体ウェハWの下にセンサコイル202が位置すると、導電性膜などに生じる渦電流に応じたレベルのセンサ信号を受け取る。そして、半導体ウェハWがセンサコイル202上を通過した後は、渦電流が発生していないレベルのウェハ外のセンサ信号を受け取ることになる。

#### 【0026】

このとき、センサコイル202を常にセンシング可能に起動させた状態にあるが、その

まま測定対象の半導体ウェハWの導電性膜の膜厚を測定するのではその膜厚が研磨に応じて変化して、受け取るセンサ信号のレベル自体が変化することにより、測定タイミングが不安定になってしまう。このことから、研磨砥液供給ノズルから水を供給して基準ウェハのダミー研磨を行う水ポリッシング（例えば、1000nmのCu層が成膜された基準ウェハを60回転/分の研磨テーブル100により120秒の水研磨）を行って、半導体ウェハWの研磨領域の測定開始タイミングのレベルを予め取得して設定しておく。詳細には、ドグセンサ350によるウェハの検出信号を受け取ってからの半導体ウェハ有無によるセンサレベルの中間値を半導体ウェハWの縁部の到達判定レベルとする。従って、ドグセンサの信号到達後の半導体ウェハWの縁部の到達判定レベルを超えたタイミングで、例えば、1ミリ秒（msec）毎にセンサ信号を取得する。このセンサ信号の取得は、ウェハがセンサ上を離脱したタイミングで終了する。得られたセンサ信号は、物理的な寸法に対応させて、各領域に割り振られる。また終点検出信号を有効と判断したり、無効と判断する場合を設定することが可能である。前記検出信号を無効とする場合としては、（1）非研磨時、（2）予め設定された所定値以上、以下であるとき、（3）トップリングがセンサの上に存在しないとき、等がある。

#### 【0027】

この渦電流センサにあっては、測定対象の導電性膜の近傍に設置されたセンサコイルが、その導電性膜内に磁束を通過させて渦電流を発生させることにより、その渦電流信号から導電性膜の膜厚を測定する。これにより、渦電流センサは、研磨パッドに窓を設けることなく、その研磨パッドを張り付ける研磨テーブル内にセンサコイルを埋め込んで導電性膜の膜厚を測定することができる。ここで、センサコイルは樹脂体で形成した収容部材などに収容されている。

#### 【0028】

例えば、図3（a）に示すように、SiCなどのセラミックス（絶縁材料）からなる研磨テーブル100内にセンサコイル202を設置する場合には、そのセンサコイル202による磁束mが研磨テーブル100の上方の検出空間内に大きな経路（磁路）を取ることができ、その研磨テーブル100上の研磨パッド（研磨面）により研磨する半導体ウェハWなどの測定対象の導電性膜内に渦電流を効果的に生じさせることができる。

#### 【0029】

しかしながら、この渦電流センサは、センサコイルをステンレスなどの導電性材料からなる研磨テーブル内に埋め込むと、図3（b）に示すように、センサコイル202による磁束mがその研磨テーブル100'内に渦電流を発生させて、外部に出る磁束の強度が減衰してしまう。このような場合には、半導体ウェハWなどの測定対象まで届く磁束mが少なくなることから、その導電性膜に発生させる渦電流信号が小さくなり、測定不能になってしまう、感度が極端に小さくなってしまふという問題がある。

#### 【0030】

したがって、渦電流センサを用いる場合には、センサコイルの周囲などの近傍（設置環境）に測定対象以外の導電性材料を存在させておくことは好ましくない。しかしながら、センサコイルを設置する研磨テーブルなどの材料（設置条件）としては、例えば、ステンレス材などが好ましい場合もある。すなわち、研磨テーブルなどの材料として、熱伝導性の良いSiCやアルミナ（ $Al_2O_3$ ）などのセラミック材料が広く用いられているが、ステンレス材を用いることで、製作コストを低減することが可能である。なお、SiCを用いる場合、一般に冷却水を流して温度コントロールするが、例えば酸化膜の研磨は温度の影響を受けにくく、この場合には温度コントロールなしのステンレス材料を用いた研磨テーブルで十分に研磨が可能である。

#### 【0031】

しかしながら、ステンレス材は導電性材料であり、渦電流センサにより交番磁界を形成すると、ステンレス材内部に渦電流が形成され、測定対象の半導体ウェハWの導電性膜への磁束が減殺されてしまうという問題がある。このような場合にも、測定対象の導電性膜に渦電流を発生させる磁束がセンサコイルの設置環境に影響されることを少なくすること

が好ましい。すなわち、そのセンサコイルの設置環境がステンレス材等の導電性材料であっても、十分な感度が得られる渦電流センサであることが好ましい。

#### 【0032】

図3(c)は、本発明の実施形態のセンサコイルを示す。このセンサコイル202は、高透磁率材料を筒形状に形成した収容部材210内に収容したことを特徴とするものである。このセンサコイル202は、上述したように、基板研磨装置が研磨パッドにより半導体ウェハWの導電性膜201を研磨する際に、その導電性膜201の膜厚を測定するように、ステンレス材等からなる基板研磨装置の研磨テーブル100'内に設置される。

#### 【0033】

この収容部材210は、例えば、比透磁率 $\mu = 50$ の高透磁率材料（例えばフェライト、アモルファス、パーマロイ、スーパーマロイ、ミューメタル）を用いて作製することにより、センサコイルの周囲の環境が空気である場合よりも50倍の磁束を通過させることができ、言い換えると、セラミックス材料などの電気的に絶縁材料の周囲環境内に設置する場合よりも $1/50$ の厚さ内に同等の磁束を通すことができる。

#### 【0034】

このことから、研磨テーブル100'がステンレス(SUS)材などの導電性材料により作製されている場合でも、図3(b)に示す従来技術と異なって、収容部材210内に収容セットされているセンサコイル202の空芯コイル312に電流供給して形成する磁束mは、図3(c)に示すように、その研磨テーブル内に渦電流を発生させて測定に必要な大きさの磁束mの経路(磁路)を小さくしてしまうことがなく、半導体ウェハWの導電性膜201に有効な渦電流を発生させる経路を取ることができる。すなわち、収容部材210は、センサコイル202の空芯コイル312による磁束mを研磨テーブル100'の導電性の母材内に通すことなく、半導体ウェハW側の検出空間内に広げる経路として機能し、その磁束mは、測定対象の導電性膜201内に大きな渦電流を発生させることができる。

#### 【0035】

このため、例えば、図4のグラフに示すように、この研磨テーブル100が、ステンレス(SUS)などの導電性材料により作製されている場合(図中、四角印で示す)でも、SiCなどのセラミックス材料(絶縁材料)により作製した場合(図中、ヒシ形印で示す)と、略同様の感度を確保することができる。すなわち、センサコイルから見たインピーダンスの直交座標軸上に、X成分とY成分の出力値が同様の円軌跡形状で変化する測定感度を確保することができる。なお、インピーダンスは、抵抗成分とリアクタンス成分とを有する複素量である。しかしながら、センサコイルから見たインピーダンスは、同期検波回路において基準波に対する $\cos$ 同期検波出力であるX成分(抵抗成分に相当する)と、 $\sin$ 同期検波出力であるY成分(リアクタンス成分に相当する)として検出される。このため、以下においては、「インピーダンス」は両方の意味で用いることにする。

#### 【0036】

なお、図5は、従来の渦電流センサを用いて、センサ感度を、研磨テーブルがステンレス(SUS)などの導電性材料により作製されている場合と、SiCなどのセラミックス材料(絶縁材料)により作製した場合とを比較したグラフである。すなわち、ヒシ形印は、図3(a)に示す、研磨テーブルがSiCなどのセラミックス材料(絶縁材料)により作製されている場合であり、十分な磁束により導電性膜に十分な渦電流が形成されていることが判る。四角印は、図3(b)に示す、研磨テーブルがステンレス(SUS)などの導電性材料により作製されている場合であり、不十分な磁束により導電性膜に十分な渦電流が形成されていないことを示している。本発明の実施形態の渦電流センサによれば、センサコイル202を、高透磁率材料を筒形状に形成した収容部材210内に収容することで、すなわち、図3(c)に示す磁束分布の形態をとることで、研磨テーブルがステンレス(SUS)などの導電性材料により作製されている場合でも、研磨テーブルがSiCやアルミナ( $Al_2O_3$ )などのセラミックス材料(絶縁材料)により作製されている場合と略同様の感度が得られる。ここで、高透磁率材料としては、フェライト、アモルファス

、パーマロイ、スーパーマロイ、ミューメタル等を用いることができる。

#### 【0037】

したがって、設計上の理由から研磨テーブル100をステンレスなどの導電性材料により作製することによっても、図4および図5のグラフに示すように、X成分とY成分の出力値が小さくなって、SiCなどのセラミックス材料により作製した場合よりも感度が大きく低下してしまうことを回避することができる。

#### 【0038】

なお、本実施形態では、センサコイル202を高透磁率材料からなる筒形状の收容部材210内に收容して研磨テーブル100に埋め込み設置する場合を説明したが、これに限らず、例えば、図6に示すように、半導体ウェハWの導電性膜201に有効な渦電流を発生させる磁束mの経路の範囲をSiCなどのセラミックス材料（絶縁材料）210aで埋め込むようにしてもよい。この場合にも、センサコイル202の空芯コイル312による磁束mは、研磨テーブル100のステンレス材料などの導電性材料内に渦電流を無駄に発生させてしまうことなく、測定対象の導電性膜201内に大きな渦電流を発生させることができる。ただし、研磨テーブル100の全体をセラミックス材料により作製する場合よりも、コストなどの設計上の制限を少なくすることができる。

#### 【0039】

次に、渦電流センサにおける膜厚検出処理の具体例について説明する。

#### 【0040】

図7は、本発明に係る基板研磨装置が備える渦電流センサを示す。渦電流センサには、導電性膜201に渦電流が生じることにより、発振周波数が変化し、この周波数変化から膜厚を検出する周波数タイプと、センサコイルから導電性膜側を見たインピーダンスが変化し、このインピーダンス変化から膜厚を検出するインピーダンスタイプとがある。図7(a)は、周波数タイプの渦電流センサを示す。周波数タイプでは、導電性膜201の膜厚が変化することで、コルピッツ発振回路203aの発振周波数が変化し、膜厚の変化をコルピッツ発振回路の発振周波数の変化として捉え、分周・カウンタ回路203bでこの発振周波数の変化を検出し、膜厚の変化を検出することができる。すなわち、この渦電流センサ200は、検出対象の導電性膜201の近傍にセンサコイル202を配置し、そのコイルにコルピッツ型の可変周波数の発振回路203aが接続されている。センサコイル202と発振回路203aとがタンク回路を構成し、導電性膜201の膜厚に対応した発振周波数で発振する。発振回路203aの発振信号は、分周・カウンタ回路203bで、分周して、カウントされ、発振周波数が検出され、対応する膜厚に換算される。

#### 【0041】

図7(b)は、インピーダンスタイプの渦電流センサを示す。この渦電流センサ200は、検出対象の導電性膜201の近傍にセンサコイル202を配置し、そのコイルに交流信号源203が接続されている。ここで、検出対象の導電性膜201は、例えば半導体ウェハW上に形成された厚さが0~2 $\mu$ m程度の銅めっき膜(Au, Cr, Wなどの金属材料の蒸着膜でもよい)、あるいはその下地に形成された厚さがオングストロームオーダーのバリア層である。バリア層は、Ta, TaN, Ti, TiN, WNなどからなる高抵抗層であり、この膜厚検出は化学機械研磨における終点を正確に検出する上で重要である。センサコイル202は、1~数十ターンのコイルであり、検出対象の導電性膜に対して例えば0.5~5mm程度の近傍に配置される。同期検波回路205は、センサコイル202側から見た検出対象の導電性膜201を含むインピーダンスzを検出する（詳細は後述する）。

#### 【0042】

例えば本発明の渦電流センサを用いて、研磨初期から膜厚をモニタする。その場合、渦電流センサでは研磨初期から研磨終点まで導電性材料をモニタする限りにおいて、継続的に且つ、断続的にリアルタイムでモニタができる特徴を有する。この特徴を利用することで研磨プロセスの変更や追加を容易に行うことができる。ここで、継続的とは図17, 18に示すような導電性膜を有する半導体基板と渦電流センサが常時対峙している装置構成

の場合を言い、断続的とは図1、図2に示すような例えば周期的に半導体基板と渦電流センサが対峙する装置構成の場合を言う。

#### 【0043】

インピーダンスタイプでは、図7(c)に示す等価回路において、交流信号源203の発振周波数は一定であり、導電性膜201の膜厚が変化すると、交流信号源203からセンサコイル202側を見たインピーダンス $z$ が変化する。すなわち、図7(c)に示す等価回路において、導電性膜201に流れる渦電流 $I_2$ は導電性膜201の等価的な抵抗 $R_2$ および自己インダクタンス $L_2$ によって決まってきて、膜厚が変化すると渦電流 $I_2$ が変化し、センサコイル202側との相互インダクタンス $M$ を介して、交流信号源203側からみたインピーダンス $z$ の変化として捉えられる。ここで、 $L_1$ はセンサコイル202の自己インダクタンス分であり、 $R_1$ はセンサコイル202の抵抗分である。

#### 【0044】

インピーダンスタイプの渦電流センサでは、信号出力 $X$ 、 $Y$ 、位相 $\theta$ 、合成インピーダンス $Z$ 、が後述するように取り出される。信号出力 $X$ 、 $Y$ 、位相 $\theta$ 、合成インピーダンス $Z$ 等から、変換した膜厚値により、金属膜 $Cu$ 、 $Al$ 、 $Au$ 、 $W$ 、バリア膜 $Ta$ 、 $TaN$ 、 $Ti$ 、 $TiN$ 、 $WN$ 、コンタクトプラグのポリシリコン等の膜厚の測定情報が得られる。これらを、単独、複合、または組合せて終点検出等の研磨工程の判断に用いることができる。渦電流センサは研磨テーブルの内部の表面付近の位置に内蔵することができ、研磨対象の半導体ウェハに対して研磨パッドを介して対面するように位置し、半導体ウェハ上の導電性膜に流れる渦電流からその膜厚を検出することができる。

#### 【0045】

例えば、タングステンの残膜厚さが $1000\text{Å}$ になったという信号を渦電流センサ本体のコントロール部200bで検出した後に、速やかにウェハを研磨パッドに押圧する圧力を低圧にする低圧プロセスに切り替えることができる。また、水ポリッシングを入れて研磨テーブルの温度を下げて研磨レートを下げる、研磨パッドに流すスラリの種類を研磨レート（研磨速度）の遅いものにする、などのプロセス変更することが、測定される絶対膜厚によりリアルタイムに制御できる。この渦電流センサ信号を基にしたプロセス制御によって、デッシングやエロージョン量を低減することができる。このような渦電流センサによるプロセス制御はタングステン研磨のみならず、銅( $Cu$ )、アルミニウム( $Al$ )研磨プロセスにも勿論適用可能である。

#### 【0046】

また、研磨対象がタングステンであれば、渦電流センサからの信号を膜厚値として例えば $1000\text{Å}$ 、 $500\text{Å}$ 、 $0\text{Å}$ が検出された時に、また研磨対象が銅であれば、 $1500\text{Å}$ が検出された時に、上述したように研磨条件を変更することや、研磨量を膜厚値として出力し、任意の研磨量により研磨条件を変更することで各種のプロセス管理が可能となる。

#### 【0047】

渦電流センサの信号源周波数は、単一電波、混合電波、AM変調電波、FM変調電波、関数発生器の掃引出力または複数の発振周波数源を用いることができ、センサと計測対象の研磨中のウェハが対向する間に、交番バースト電磁界または正弦波に平衡変調、振幅変調、パルス変調をかけたものにより、渦電流センサに磁界を生成し磁束を発生する。なお、計測対象の膜の膜種に適合させて、感度の良い発振周波数および変調方式を選択することが好ましい。

#### 【0048】

以下に、インピーダンスタイプの渦電流センサについて具体的に説明する。交流信号源203は、 $1\sim 50\text{MHz}$ 程度の固定周波数の発振器であり、例えば水晶発振器が用いられる。そして、交流信号源203により供給される交流電圧により、センサコイル202に電流 $I_1$ が流れる。導電性膜201の近傍に配置されたコイル202に電流が流れることで、この磁束が導電性膜201と鎖交することで、その間に相互インダクタンス $M$ が形成され、導電性膜201中に渦電流 $I_2$ が流れる。ここで $R_1$ はセンサコイルを含む一次

側の等価抵抗であり、 $L_1$  は同様にセンサコイルを含む一次側の自己インダクタンスである。導電性膜 201 側では、 $R_2$  は渦電流損に相当する等価抵抗であり、 $L_2$  はその自己インダクタンスである。交流信号源 203 の端子 a, b からセンサコイル側を見たインピーダンス  $z$  は、導電性膜 201 中に形成される渦電流損の大きさによって変化する。

#### 【0049】

図 8 は、本実施形態の渦電流センサにおけるセンサコイルの構成例を示す。センサコイル 202 は、導電性膜に渦電流を形成するためのコイルと、導電性膜の渦電流を検出するためのコイルとを分離したもので、ボビン 311 に巻回された 3 層のコイル 312, 313, 314 により構成されている。ここで中央のコイル 312 は、交流信号源 203 に接続される励磁コイルである。この励磁コイル 312 は、交流信号源 203 より供給される電圧の形成する磁界により、近傍に配置される半導体ウェハ W 上の導電性膜 201' に渦電流を形成する。ボビン 311 の上側（導電性膜側）には、検出コイル 313 が配置され、導電性膜に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。そして、励磁コイル 312 の検出コイル 313 と反対側にはバランスコイル 314 が配置されている。

#### 【0050】

図 9 は、各コイルの接続例を示す。コイル 312, 313, 314 は、この実施形態においては同じターン数（1～500 t）のコイルにより形成され、検出コイル 313 とバランスコイル 314 とは互いに逆相に接続されている。

#### 【0051】

検出コイル 313 とバランスコイル 314 とは、上述したように逆相の直列回路を構成し、その両端は可変抵抗 316 を含む抵抗ブリッジ回路 317 に接続されている。コイル 312 は交流信号源 203 に接続され、交番磁束を生成することで、近傍に配置される導電性膜 201' に渦電流を形成する。可変抵抗  $VR_1$ ,  $VR_2$  の抵抗値を調整することで、コイル 313, 314 からなる直列回路の出力電圧が、導電性膜が存在しないときにはゼロとなるように調整可能としている。

#### 【0052】

コイル 313, 314 のそれぞれに並列に入る可変抵抗  $VR_1$ ,  $VR_2$  で、 $L_1$ ,  $L_3$  の信号を  $VR_2$  で同位相に、長さを  $VR_1$  で調整する。すなわち、図 10 (a) の等価回路において、

$$VR_{1-1} \times (VR_{2-2} + j\omega L_3) = VR_{1-2} \times (VR_{2-1} + j\omega L_1)$$

となるように、可変抵抗  $VR_1 (=VR_{1-1}+VR_{1-2})$  および  $VR_2 (=VR_{2-1}+VR_{2-2})$  を調整する。これにより、図 10 (b) に示すように、調整前の  $L_1$ ,  $L_3$  の信号（図中点線で示す）を、同位相・同振幅の信号（図中実線で示す）とする。ここで、可変抵抗  $VR_1 (=VR_{1-1}+VR_{1-2})$  および  $VR_2 (=VR_{2-1}+VR_{2-2})$  の調整は、サーボモータ（DC パルスモータ）を用い、自動で行うことが好ましい。これにより、センサコイルが有する或る程度のばらつきと取付け環境によるバランスを、自動で調整を行うことにより、個体差を無くした渦電流センサとすることができる。

#### 【0053】

すなわち、交流信号源に接続された励磁コイル 312 から、検出コイル 313 とバランスコイル 314 との直列回路を分離して、抵抗ブリッジ回路でバランスの調整を行うことで、ゼロ点の調整が可能である。従って、導電性膜に流れる渦電流をゼロの状態から検出することが可能になるので、導電性膜中の渦電流の検出感度が高められる。これにより、導電性膜の変化のみを高感度で導電性膜に形成される渦電流の大きさの検出が可能となる。そして、導電性膜が検出コイル 313 の近傍に存在する時には、導電性膜中に形成される渦電流によって生じる磁束が検出コイル 313 とバランスコイル 314 とに鎖交するが、検出コイル 313 のほうが導電性膜に近い位置に配置されているので、両コイル 313, 314 に生じる誘起電圧のバランスが崩れ、これにより導電性膜の渦電流によって形成される鎖交磁束を検出することができる。

#### 【0054】

図 11 は、交流信号源側 203 からセンサコイル 202 側を見たインピーダンス  $z$  の計

測回路例を示す。この図11に示すインピーダンス $z$ の計測回路においては、膜厚の変化に伴うインピーダンス平面座標値( $x$ ,  $y$ )抵抗成分( $R$ )、リアクタンス成分( $X$ )、インピーダンス成分( $Z$ )および位相出力( $\theta = \tan^{-1} R/X$ )を取り出すことができる。従って、これらの信号出力を用いることで、例えばインピーダンスの各種成分の大きさにより膜厚を計測するなど、より多面的な処理の進行状況の検出が可能となる。

#### 【0055】

上述したように、検出対象の導電性膜201が成膜された半導体ウェハW近傍に配置されたセンサコイル202に、交流信号を供給する信号源203は、水晶発振器からなる固定周波数の発振器であり、例えば、1~50MHzの固定周波数の電圧を供給する。信号源203で形成される交流電圧は、バンドパスフィルタ302を介してセンサコイル202に供給される。センサコイル202の端子で検出された信号は、高周波アンプ303および位相シフト回路304を経て、 $\cos$ 同期検波回路305および $\sin$ 同期検波回路306からなる同期検波部により検出信号の $\cos$ 成分( $X$ 成分)と $\sin$ 成分( $Y$ 成分)とが取り出される。ここで、信号源203で形成される発振信号は、位相シフト回路304により信号源203の同相成分( $0^\circ$ )と直交成分( $90^\circ$ )の2つの信号が形成され、それぞれ $\cos$ 同期検波回路305と $\sin$ 同期検波回路306とに導入され、上述の同期検波が行われる。

#### 【0056】

同期検波された信号は、ローパスフィルタ307, 308により、信号成分以上の不要な例えば5KHz以上の高周波成分が除去され、 $\cos$ 同期検波出力である $X$ 成分出力と、 $\sin$ 同期検波出力である $Y$ 成分出力とがそれぞれ取り出される。また、ベクトル演算回路309により、 $X$ 成分出力と $Y$ 成分出力とから、

$$\text{インピーダンス成分 } Z = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

が得られる。また、ベクトル演算回路( $\theta$ 処理回路)310により、同様に $X$ 成分出力と $Y$ 成分出力とから、

$$\text{位相出力 } (\theta = \tan^{-1} Y/X)$$

が得られる。ここで、これらフィルタは、センサ信号の雑音成分を除去するために設けられ、各種フィルタに応じたカットオフ周波数が設定されている。

#### 【0057】

図7(c)の等価回路から、電圧および電流をそれぞれ正弦波として、以下の関係式が成立している。

$$(R_1 + j\omega L_1) I_1 + j\omega M I_2 = E \quad (1)$$

$$(R_2 + j\omega L_2) I_2 + j\omega M I_1 = 0 \quad (2)$$

上記式から、一次側から見たインピーダンス $z$ は、(3)式に示される。

#### 【数1】

$$\begin{aligned} z = \frac{E}{I_1} &= \left[ \frac{E(Z_{11} - \frac{Z_M^2}{Z_{22}})}{E} = Z_{11} - \frac{Z_M^2}{Z_{22}} = (R_1 + j\omega L_1) - \frac{j^2 \omega^2 M^2}{R_2 + j\omega L_2} \right] \\ &= R_1 + j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + j\omega L_2} = x + jy \end{aligned} \quad (3)$$

#### 【0058】

ここで、抵抗成分 $x$ およびリアクタンス成分 $y$ は、それぞれ(4)式、(5)式のようになる。

## 【数 2】

$$R_1 + \frac{\omega^2 M^2 R_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} = x \quad (4)$$

$$\omega L_1 - \frac{\omega^3 M^2 L_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} = y \quad (5)$$

## 【0059】

ここで、渦電流の抵抗分に相当する  $R_2$  を消去すると、(6) 式が得られる。

## 【数 3】

$$(x - R_1)^2 + \left\{ y - \frac{\omega \times L_1 (2 + k^2)}{2} \right\}^2 = \left( \frac{1}{2} k^2 \omega L_1 \right)^2 \quad (6)$$

## 【0060】

すなわち、この (6) 式は円の軌跡を示す式であり、中心が

$$x = R_1, \quad y = \omega L_1 (2 + k^2) / 2$$

であり、半径が  $k^2 \omega L_1 / 2$  の円となる。ここで、 $k$  は結合係数であり、

$$M = k (L_1 L_2)^{1/2}$$

である。

## 【0061】

このことは一次側から見たインピーダンス  $z$  が図 12 に示す半円上のいずれかの点に位置していることを示している。尚、渦電流損失に相当する抵抗  $R_2$  は、(7) 式で表される。

## 【数 4】

$$R_2 = \rho \frac{L}{W \cdot d} \quad (7)$$

ここで、 $\rho$  : 体積抵抗率、

$L$  : 導電性膜の等価長さ、

$W$  : 導電性膜の等価幅、

$d$  : 導電性膜の厚さ。

## 【0062】

図 12 は、交流信号源側から見たインピーダンス  $z$  の座標の軌跡を示し、縦軸はリアクタンス成分 ( $X$ ) であり、横軸は抵抗成分 ( $R$ ) である。点 C は膜厚が例えば  $100 \mu m$  以上と極めて大きい (完全導体とみなせる) 場合である。この場合には、交流信号源 203 の端子 a, b からセンサコイル 202 側を見たインピーダンス  $z$  は、センサコイルに近接して配置された導電性膜 201 の渦電流が極めて大きく、センサコイル 202 と等価的に並列に接続された抵抗成分 ( $R_2$ ) とリアクタンス成分が極めて小さくなる。従って、抵抗成分 ( $R$ ) およびリアクタンス成分 ( $X$ ) が共に小さくなる。

## 【0063】

研磨が進行して導電性膜が薄くなると、センサコイル入力端 (端子 a, b) から見たインピーダンス  $z$  は、C 点から開始し等価的な抵抗成分 ( $R_2$ ) が増大し、リアクタンス成分も増大する。センサコイル入力端から見たインピーダンス  $z$  の抵抗成分 ( $R$ ) が最大となる点を B で示す。この時、センサコイル入力端から見た渦電流損が最大となる。さらに研磨が進行し、導電性膜がより薄くなると、渦電流が減少し、センサコイルから見た抵抗成分は、渦電流損が徐々に減少することから、抵抗成分 ( $R$ ) は徐々に小さくなる。そして、導電性膜が全て研磨により除去されると、そこには渦電流損が存在せず、等価的に並列接続された抵抗成分 ( $R_2$ ) は無限大となり、センサコイル自体の抵抗分 ( $R_1$ ) のみ



が残ることになる。この時のリアクタンス成分 (X) は、センサコイル自体のリアクタンス成分 ( $L_1$ ) のみである。この状態を、点 A で示す。

#### 【0064】

実際に、例えばシリコン酸化膜中に設けられた溝に銅配線を、いわゆるダマシンプロセスで形成する場合には、シリコン酸化膜上に窒化タンタル (Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>)、窒化チタン (TiN) 等のバリア層が設けられ、その上に導電率の高い銅またはタングステン等の金属配線が設けられる。従って、これらの導電性膜の研磨にあたっては、バリア層の研磨の終点検出が重要となる。ところが、バリア層は上述したように窒化タンタル (Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>) または窒化チタン (TiN) 等の導電率が比較的低く、かつ膜厚がオングストロームオーダの極めて薄い膜が採用されている。

#### 【0065】

しかるに、本実施形態の渦電流センサにおいては、このようなバリア層の研磨終点近傍の膜厚検出が容易に可能となる。すなわち、図 12 に示す点 D は、例えば膜厚が 1000 Å 程度の位置を示し、これより膜厚がゼロとなる、点 A に向けて、膜厚の変化に対応して抵抗成分の変化が極めて大きく、かつ略直線的に変化する。この時に、リアクタンス成分 (X) は、図示するように抵抗成分と比較して、極めて変化量が小さい。このため、リアクタンス分の変化に伴って生じる発振周波数の変化に基づいて膜厚を検出するという原理に基づく渦電流センサでは、この膜厚変化に対して発振周波数の変化は極めて小さい。このため、周波数変化の分解能を上げるためには、周波数を高くする必要があった。

#### 【0066】

しかしながら、インピーダンス検出方式の渦電流センサによれば、発振周波数は固定したままで、抵抗成分の変化を見ることにより膜厚の変化を検出することができ、比較的低い周波数でこの極めて薄い膜厚の研磨状態を明瞭に観察することが可能となる。ここで、本実施形態では、膜厚の変化に伴って生じる抵抗成分の変化に基づいて膜厚を検出する方式を採用するが、測定対象によっては、発振周波数の変化に基づいて膜厚を検出する方式を採用してもよく、また、リアクタンス成分と抵抗成分との合成インピーダンスに基づいて膜厚を検出するようにしてもよい。また、円弧の長さを測る方法で検出することも後述するように可能である。

#### 【0067】

ただし、交流信号源の発振周波数は、導電率が比較的低いバリア層の検出では、発振周波数を例えば導電率が高い金属に比べて高くすることが望ましい。発振周波数を高くすることにより、バリア層の 0~250 Å の膜厚の変化を明瞭に観察することができる。これに対して、例えば銅膜等の導電率が比較的高い金属においては、低い発振周波数でも明瞭に膜厚の変化の検出が可能である。また、タングステン膜の場合には、その中間程度の発振周波数が好適である。このように、研磨対象膜の種類に対応して、発振周波数を選択することが好ましい。

#### 【0068】

次に、インピーダンスタイプの渦電流センサにおける研磨パッドの影響について検討する。図 1 に示すように、研磨対象の半導体ウェハ W の表面に存在する導電性膜は、研磨テーブル 100 に埋め込まれた渦電流センサ (コイル) 202 から研磨パッド 101 を介して行うことになる。基板研磨装置が研磨パッドにより研磨する半導体ウェハ W の導電性膜 201 の膜厚を測定する場合、センサコイル 202 端部とその導電性膜 201 との間の隙間 G (図 7 (b) 参照) は、これらの間に介在する研磨パッドの厚さに応じて変化することになる。この結果、例えば、図 13 に示すように、使用する研磨パッドの厚さ ( $t_1 \sim t_4$ ) 分の隙間 (ギャップ) G に応じて、X 成分および Y 成分の円弧軌跡が変動する。このことから、この X 成分あるいは Y 成分の円弧軌跡から半導体ウェハ W の導電性膜 201 の膜厚を高精度に測定するには、使用する研磨パッドの厚さ毎に (研磨パッドの使用前毎にでもよい)、既知の膜厚での X 成分および Y 成分の測定情報を準備してから、測定対象の導電性膜 201 の膜厚を測定する必要がある。

#### 【0069】

しかるに、渦電流センサによる X 成分および Y 成分の測定結果からは、図 13 に示すように、センサコイル端部と導電性膜との間の隙間 G にかかわらず、X 成分および Y 成分の導電性膜の膜厚毎の出力値を直線 ( $r_1 \sim r_3$ ) で結ぶと、その直線が交差する交点 (中心点) P を取得することができる。この予備測定直線  $r_n$  ( $n: 1, 2, 3 \dots$ ) は、その交点 P を通過する Y 成分一定の基準線 (図 13 における水平線) L に対して、導電性膜の膜厚に応じた仰角 (挟角)  $\theta$  で傾斜 (勾配) する。

#### 【0070】

このことから、半導体ウェハ W の導電性膜 201 を研磨する研磨パッドの厚さが不明の場合であっても、研磨する導電性膜 201 の X 成分および Y 成分の測定結果 (出力値) と中心点 P を結ぶ本番測定直線  $r_n$  の基準線 L に対する仰角  $\theta$  を求めれば、予め予備測定済みの導電性膜の膜厚に応じた仰角  $\theta$  の変化傾向などとの相関関係に基づいてその測定対象の導電性膜の膜厚を導出することができる。なお、基準線 L は、X 成分を一定とする図 13 における垂直線としてもよいことはいうまでもない。

#### 【0071】

次に、仰角  $\theta$  から膜厚を算定する方式の具体例について説明する。例えば、銅膜が形成された複数のパッド厚と膜厚とを有するサンプルを準備する。そして、それらの直交軸における座標位置を測定する。例えば、パッド厚 2 mm で膜厚 2000 Å の座標 ( $x_1, y_1$ ) を求め、パッド厚 3 mm で膜厚 2000 Å の座標 ( $x_2, y_2$ ) を求め、両座標点を通る直線を求める。この直線は (8) 式となる。この時の仰角  $\theta_1$  においては、直線は共通の膜厚 2000 Å を通るようになっている。

#### 【数 5】

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (8)$$

#### 【0072】

次に、同様にパッド厚 2 mm で膜厚 3000 Å の座標 ( $x_3, y_3$ ) を求め、同様にパッド厚 3 mm で膜厚 3000 Å の座標 ( $x_4, y_4$ ) を求める。そして、この両座標点を通る直線を求める。この直線は (9) 式となる。この時の仰角  $\theta_2$  においては、直線は共通の膜厚 3000 Å を通るようになっている。

#### 【数 6】

$$y - y_3 = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} (x - x_3) \quad (9)$$

#### 【0073】

そして、これらの傾きの異なる直線の交点が中心点 P であり、パッド厚の大小にかかわらず、仰角  $\theta$  が一定であれば一定の膜厚となる。この傾きが異なる 2 本の直線の交点 (中心点) は、次式から求められる。

#### 【数 7】

$$y = a_1 x + b_1 \quad (10)$$

$$y = a_2 x + b_2 \quad (11)$$

$$x = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \quad (12)$$

$$y = \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{a_1 - a_2} \quad (13)$$

#### 【0074】

そこで、後述する渦電流センサ本体のコントロール部 200b では、導電性膜の膜質に応じた中心点 P およびその導電性膜の膜厚に応じた仰角  $\theta$  を求めてメモリ (交点記憶手段) 内に記憶・準備させておき、この後に、基板研磨装置の稼動時には、その測定毎の X 成

分およびY成分の出力値とそのメモリ内の中心点Pとを結んだ本番測定直線  $r_n$  の仰角  $\theta$  に基づいて測定対象の導電性膜の膜厚を演算して導出するという、仰角  $\theta$  による膜厚測定手順（方法）を実行するように構成されている。すなわち、渦電流センサ本体のコントロール部 200b が演算手段を構成して、研磨中の半導体ウェハWの導電性膜 201 の膜厚を迅速に測定するようになっている。なお、メモリ内には、中心点Pや仰角  $\theta$  を求めるための情報を格納しておき、その都度、算出するようにしてもよいことはいふまでもない。

#### 【0075】

また、この渦電流センサの測定対象の導電性膜は、例えば、成膜装置や成膜方式などの成膜条件に応じて、同一材料であっても抵抗率が微妙に変化している。この同一種の導電性膜でも抵抗率が異なると、図12における抵抗成分(R)とリアクタンス成分(X)の出力値の円軌跡上において、その抵抗率に応じて抵抗成分(R)とリアクタンス成分(X)の出力値が変化する。具体的には、抵抗率が低く変化する場合にはその円軌跡上を時計回り方向に変位し、また、抵抗率が高く変化する場合にはその円軌跡上を反時計回り方向に変位する。このことから、例えば、成膜条件の違いによる抵抗率に応じた補正係数を予め設定しておき、渦電流センサによる測定結果をその補正係数により演算して修正することにより、抵抗率の変動分をキャンセルして、正確に膜厚を測定することができる。

#### 【0076】

そこで、渦電流センサ本体のコントロール部 200b (図1参照) では、成膜条件による抵抗率の違いをキャンセルする補正係数を予め取得してメモリ(係数記憶手段)内に記憶・準備させておき、測定対象の導電性膜の膜厚測定を行う際には、X成分およびY成分の出力値にメモリ内の補正係数を掛けるなどの演算処理を行って、導電性膜の膜厚を高精度に測定するように構成されている。すなわち、この渦電流センサ本体のコントロール部 200b は、成膜条件の違いによる誤差を含むことなく、半導体ウェハWの導電性膜 201 の膜厚を高精度に測定することができるようになっている。

#### 【0077】

また、バリア層(例えばTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>の厚さ30nm程度)を研磨するような場合、インピーダンス平面上での測定点の移動はあるものの、曲線状とならないこともある。このような場合であっても、インピーダンス平面の一部を拡大して、インピーダンス平面上の測定点の移動距離を計測することで膜厚変化や膜厚値を知ることが可能である。

#### 【0078】

さらに、渦電流センサによるX成分およびY成分の測定結果には、半導体ウェハから導電性膜のCu層が研磨されて極薄のTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>層(バリア層)が残存しているような場合、その半導体ウェハのSi(シリコン)材料に発生する渦電流の影響が大きい場合がある。このことから、Siによる影響を受けることなく、残存するTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>層などの極薄のバリア層の膜厚を高精度に測定するには、渦電流センサによる測定結果からSiによるX成分およびY成分を除いて、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>層などのバリア層による座標変化のみを取り出す必要がある。すなわち、予め導電性膜が成膜されていない半導体ウェハのSiによるX成分およびY成分を渦電流センサにより測定しておき、そのSiによるX成分およびY成分を渦電流センサによる測定結果から取り除くことにより、半導体ウェハに残存するTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>層などのバリア層でもその膜厚を高精度に測定することができる。すなわち、研磨により時間的に変化しないSiによる影響を取り除き、研磨により時間的に変化するバリア層の膜厚変化に伴うインピーダンス座標上の変化を拡大表示することができる。

#### 【0079】

そこで、渦電流センサ本体のコントロール部 200b (図1参照) では、予め導電性膜が成膜されていない半導体ウェハのSi基板によるX成分およびY成分を予備測定する。そして、そのX成分およびY成分の出力値をxy座標におけるx軸またはy軸に一致させる位相回転を行うための、xy座標(直交座標軸)における回転角 $\theta$ を求めてメモリ(角度記憶手段)内に記憶・準備しておく。

#### 【0080】

そして、例えば、半導体ウェハ(Si基板)に残存するTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>層などのバリア層を測定

した結果、図14(a)に実線で示す軌跡が得られたとする。ここで、点線部分はSi基板のX成分およびY成分であり、バリア層(TaN)の膜厚変化の部分は極めて小さい。この場合、図14(a)に示す、Si基板の影響を受けたP点の座標を、渦電流センサ本体コントロール部の変換ロジックソフトに入力し、座標軸の回転移動の計算処理を行う。即ち、Si基板のインピーダンス成分をx, y軸に重なるように回転処理を行い(図14(b)参照)、TaNの成分信号のみをx方向またはy方向に拡大処理する(図14(c)参照)ことで、Si基板のインピーダンス成分の影響を回避し、検出感度を向上できる。上記の方式では、Si基板のX, Y成分を事前に計測することなく、Si基板のインピーダンス成分の影響をキャンセルして、バリア層のインピーダンス変化のみを拡大表示することができる。

#### 【0081】

即ち、まず位相回転およびオフセット調整(平行移動)を行い、図14(b)に示すように座標系を変換する。そして、位相角を回転することで、Si基板のX成分およびY成分をキャンセルすることができる。次に、図14(c)に示すように、y方向に拡大表示することでバリア層による成分のみを拡大表示して、その膜厚を測定するという、位相回転・拡大表示による膜厚測定手順(方法)を実行する。

#### 【0082】

すなわち、渦電流センサ本体のコントロール部200bが位相回転によるSi影響分の座標成分のキャンセル手段を構成して、極薄のバリア層などの導電性膜201の膜厚に相当する座標成分を拡大表示して高精度に測定することができるようになっている。なお、ここでは、渦電流センサによる測定結果を位相回転させる場合を一例として説明するが、これに限るものではないことはいうまでもなく、例えば、バリア層を含む測定結果からSiのみの測定結果をX成分またはY成分毎に減算して、バリア層の感度のみを抽出することによる出力値としてもよい。

#### 【0083】

また、そのセンサコイル202から半導体ウェハ(導電性膜)までの距離に応じて、図13に示したのと同様に、その半導体ウェハを保持するトップリング1内のステンレス金属材料などの導電性材料までの距離が近い場合には、そのX成分とY成分が出力値に影響してしまう。このことから、トップリング1は、渦電流センサによるX成分とY成分の出力値(半導体ウェハの導電性膜に発生させる渦電流)に影響しない程度以上に、例えば、10mm以上、その半導体ウェハを保持するトップリング1内のステンレス金属材料などの導電性材料を配置することが好ましい。これにより、トップリング1内のステンレス金属材料などの影響を実質的に無視できる程度に低減することができる。なお、トップリングの導電性材料が影響を及ぼす場合には、上述した位相回転の手法により、この影響を無視できる程度に低減することができる。

#### 【0084】

また、渦電流センサの較正は、基準ウェハの導電性膜を研磨しつつその膜厚測定を行って、図12における抵抗成分(R)とリアクタンス成分(X)の出力値の円軌跡の基点(測定開始点)および終点(導電性膜消失点)が一定になるように、メインアンプ200aの位相、ゲイン、オフセットを調整、および極性反転することにより、渦電流センサの個体差による影響をなくして、導電性膜の膜厚の変化を正確に読取可能にすることもできる。

#### 【0085】

この渦電流センサ本体のコントロール部200bにあつては、膜厚測定を導電性膜の研磨中に迅速に行うことができ、所定の膜厚で研磨モードを切り替える必要がある場合には、オングストロームオーダの膜厚を測定可能なレンジに当初よりプリアンプまたはメインアンプを選択設定して、正確な膜厚の確認処理を行うことができる。例えば、300Å程度で研磨モードを切り替えることを目的とする場合には、300Å程度以上のCu層またはW層の研磨中には測定対象の膜厚の測定結果は実測不能なオーバレンジ(飽和)とし、その研磨が進んで300Å程度以下で直線的な増幅度が得られるようにする。

## 【0086】

すなわち、プリアンプまたはメインアンプを選択設定して、指定膜厚以上は飽和させ、指定膜厚以下は変化させる特性にすることにより、指定膜厚によりプロセスを切り替えることが可能になる。このときの研磨波形は急峻な特性になり微分値の設定の幅は広がり、設定しやすくなる、等の特徴がある。例えば、図15(a)に示すように、指定膜厚 $T_1$ で研磨プロセスを切り替えたい場合がある。この場合に、図15(b)に示すようにアンプのゲインを膜厚 $T_1$ であらかじめ飽和させておく。これにより、図15(c)に示すように、膜厚 $T_1$ 以上では略一定の出力が得られるが、膜厚 $T_1$ で出力が急激に低下し始める。図15(d)に示すように時間微分のボトムで $T_2$ を検出することにより、指定膜厚 $T_1$ を研磨中に明確に検出することが可能である。

## 【0087】

この測定結果を得て、渦電流センサ本体のコントロール部200bの動作モードを、上述の膜厚測定から、位相回転・拡大表示による膜厚測定のバリア層用に切り替えることで、高精度な研磨処理を実行可能にすることもできる。この動作モードにおいては、発振周波数の切り替えや、増幅度の切り替えにより、微小な膜厚のバリア層の有無をより確実に検知して、研磨の終了タイミングを適切に判断することができるようになる。また、指定膜厚で高圧研磨プロセスから低圧研磨プロセスに切り替えることで、タングステン膜または銅膜等の研磨でのディッシングやエロージョンの低減ができるようになる。

## 【0088】

また、タングステンプロセスなどで基板の抵抗値が低い場合（例：抵抗率 $0.01 \sim 0.03 \Omega \cdot \text{cm}$ ）では、基板の抵抗値のばらつきにより、膜厚測定精度が低下する。そこで、成膜されたメタル膜の抵抗率・膜厚が同じであれば、研磨時のインピーダンス座標軌跡の曲線上の円弧の長さは、「基板の抵抗値によらず一定である」、という特性を利用する。例えば、予め、較正用ウェハの基板の抵抗値、メタル膜厚値、膜厚変化に応じたインピーダンス曲線上の測定点の移動（移動距離）を測定しておく。次に実際の基板を研磨する時に得られた円弧上の研磨開始点と研磨中のインピーダンス曲線上の点との距離から研磨対象膜厚値を算出することができる。ここで較正ウェハのメタル材質と実際に研磨・膜厚測定する導電性材料の材質は同じであることが望ましい。つまり各種金属の膜厚と円弧上の位置を予め求めておくことで、基板抵抗率が低い場合や不安定な材質で形成されている場合にも、導電性膜の膜厚変化を適切に求めることができる。

## 【0089】

次に、低抵抗基板を使用した場合のW膜等の比較的導電性の低い膜についての膜厚測定に好適な円弧長方式について、詳細に説明する。研磨データのインピーダンス平面上の軌跡は、座標軸上の $x$ ,  $y$ ,  $z$ により求め、これを研磨終点の検出信号とすることができる。しかしながら、この座標軸上の絶対値を研磨終点信号にすると、下地Si基板の影響で研磨の都度、測定点が移動して高感度の検出ができないという問題がある。この対策として、研磨開始点 $t=0$ の座標( $X_0$ ,  $Y_0$ )からの各研磨時間 $t$ 秒後の研磨軌跡( $X_p$ ,  $Y_p$ )間の研磨軌跡の長さを計測し、この長さの変化で研磨量または研磨の終点を得ることができる。研磨軌跡がインピーダンス平面上を移動しても、この方式によれば円弧長を計測するので、常に研磨開始点からの変化の絶対値が得られ、計測感度が向上する。

## 【0090】

図16(a)は、円弧長計測方式の例を示すものである。例えば、研磨テーブルの回転数が毎分60回転の時に、基板上の所定の領域を各回転毎（すなわち、1秒毎）に通じ、データを取得する。そして、 $t=0$ 秒の時の座標( $X_0$ ,  $Y_0$ )、 $t_1$ 秒後の座標( $X_1$ ,  $Y_1$ )、 $t_2$ 秒後の座標( $X_2$ ,  $Y_2$ )が得られる。そして、これらのデータから $t=0$ 秒と $t=t_1$ 秒間の円弧の長さ $L_1$ を得ることができ、同様に $t_1$ 秒から $t_2$ 秒の間の円弧の長さ $L_2$ が得られ、同様に $t_2$ 秒から $t_3$ 秒の間の円弧の長さ $L_3$ が得られる。

## 【0091】

次に、Si基板に抵抗率が異なる低抵抗基板が使用されている場合のタングステンの膜厚計測について検討する。このような場合にも、Si基板の抵抗率が同じであれば、研磨

時のインピーダンス平面上のインピーダンス軌跡は円弧の軌跡になる。そして、Si基板に抵抗率が異なる低抵抗基板が使用されても、W膜の膜厚の変化量が同じであれば、インピーダンス軌跡は同一の円弧上にあり、その円弧長は同じになる。

#### 【0092】

例えば、図16(b)に示すように、W膜3000Åを研磨する際に、下地Si基板の抵抗率が $0.03\Omega\cdot\text{cm}$ の場合の円弧Cと、同じW膜3000Åを研磨するときの下地Si基板の抵抗率が $0.01\Omega\cdot\text{cm}$ の場合の円弧Dにおいて、円弧Cと円弧Dの長さが等しい。もちろん、インピーダンス座標上の略半円の中心から見た角度は下地Si基板の抵抗率の影響を受けて回転角度差がある。従って、上述したように既知の基板の抵抗率を有するものの校正データから上述したように回転角度差を補正することで、未知の下地Si基板の抵抗率を有する基板上に形成されたW膜の膜厚を算定することができる。

#### 【0093】

このような渦電流センサを備えた基板研磨装置によれば、終点検出を半導体ウェハの全面について行うことができ、且つ短時間間隔で行うことができる。そして、上述したようにバリア層であるTa, TaN, TiN, Ti層等の研磨終点を検出できるので、極めて高精度の研磨終点の検出を行える。このとき、このように構成された渦電流センサでは、研磨プロセスの最終段階で導電性膜のパッチ残り（部分的残膜）が発生しても、直径( $\phi$ )5mm以上のパッチ残りを検出することができ、研磨プロセスにおいてそのパッチ残りを確実に研磨・除去することができる。さらに、研磨対象の半導体ウェハWの導電性材料による配線が多層化されているような場合でも、このように構成された渦電流センサでは、その配線密度が90%以下であれば確実に表層の導電性膜を検出して研磨・除去することができる。

#### 【0094】

研磨テーブルのトルク電流、金属膜の渦電流によるインピーダンス変化、光学式モニタにおける酸化膜の膜厚変化、マイクロ波による金属膜または酸化膜の膜厚変化信号等を計測後に、信号再生による雑音成分を解析し、雑音成分の除去のため、LPF、BPF、HPF、ノッチフィルタ等の各種フィルタのカットオフ周波数を設定することが好ましい。例えば、渦電流センサではLPFのカットオフ周波数を0.1~1KHzの範囲で設定することで、センサに混在する雑音成分を除去して正確な信号の検出により特徴点の正確な検出を行うことができる。

#### 【0095】

金属膜が例えば電解研磨や化学機械研磨プロセスによって除去される際に渦電流センサにより計測した絶対的な膜厚に基づいて、研磨速度と面内均一性等の研磨プロセスを制御するため、例えば研磨パッドに対する押圧力、テーブルの温度制御、研磨テーブルおよびトッピングの回転数等をクローズループコントロールにより調節するようにしてもよい。

#### 【0096】

また、上述した渦電流センサを用いて研磨予測や予防管理を行うことができる。例えば、研磨中のウェハから得られる渦電流センサのインピーダンス特性を所定時間毎に計測する。そして、インピーダンス特性とモデルデータとの対応関係に基づいて、研磨終点のモデルデータに対応するインピーダンス特性を得るまでの残り時間を予測するようにする。これにより、CMP装置における研磨テーブルの回転に依存することなく、研磨テーブルが一回転するのに要する時間よりも細かい時間単位で研磨終点を検出することができる。また、早い段階から研磨終点までの残り時間を予測することができる。これにより、処理の進行状態の適否を研磨中に確認することができるので、研磨に何らかの異常が発生しても速やかに対応することができる。

#### 【0097】

また、この渦電流センサを用いて研磨スラリや廃液のインピーダンス分析による工程の終点検出も可能である。例えば、2, 8, 20, 160MHz、マイクロ波30~300GHzの電磁波を研磨プロセス中に排液されるパット上またはスラリ廃液ライン、スラリ

廃液缶のスラリに印加する。その反磁場、反射振幅、反射のインピーダンス変化を検出し、研磨前の基準インピーダンスと相対値、絶対値を平均化し、この値から時間微分の変化値によりウェハ研磨における研磨終点の検出も可能である。また、(電解、無電解)めっき装置等の成膜工程や、(超純水)電解研磨装置や、電解複合研磨装置等の研磨工程においても、めっき液、電解液、超純水等の処理液の排液の工程中のインピーダンスの変化を連続的にモニタし、同様に成膜や研磨終点の検出等を行うことができる。

#### 【0098】

さらにまた、信号の積分処理により異常判断することも可能である。すなわち、渦電流センサやマイクロ波センサのインピーダンス積分値は研磨開始時点からのセンサのインピーダンスの時間積分値である。センサの検出インピーダンス  $T(x)$ 、 $T(y)$ 、 $T(z)$ 、膜厚データ等を研磨開始の時刻を  $t_0$  とする研磨中の時刻  $t$  での信号積分値  $S_t(f)$  に積分演算する。すなわち、研磨開始時から研磨中のある時点までの信号積分値  $S_t(f)$  を演算し、事前に基準となる研磨ウェハに対して研磨開始から研磨終点まで計算しておいた基準ウェハに対するセンサ信号積分値  $S_0(f)$  を基準に、研磨中の積分値の比率を演算し、この比率から研磨終点や研磨状態の異常判定を行うことも可能である。

#### 【0099】

また、ウェハ上の導電性膜除去の研磨(処理)終点の決定方法において、渦電流センサまたはマイクロ波センサではエッジカット処理を行い、渦電流センサでは、インピーダンス  $X$ 、 $Y$  成分、位相  $\theta$ 、合成インピーダンス  $Z$ 、周波数  $F$ 、これらから変換された膜厚値を、マイクロ波センサでは反射、透過信号等の信号を、複数の  $N$  ゾーン例えば5ゾーンに分割してこれらゾーンデータから最適  $N$  ゾーンの単独、 $N$  ゾーン全ての平均値、任意  $N$  ゾーン全ての組合せの平均値、実効値、各データの1次、2次、 $n$  次の時間微分値が、事前に指定範囲、または以上、または以下になることにより研磨(処理)終点を決める手段を備えている。

#### 【0100】

また、センサ信号の演算処理により計算された基準時間から金属膜が完全除去される終点時間を得るために、前記基準時間に対し係数を四則演算し、追加研磨時間を計算して基準時間に加算して終点時間を決定することができる手段を備えている。これにより、適切な終点時間を設定することができる。

#### 【0101】

ここで、本実施形態においては、半導体ウェハの導電性膜を研磨テーブルの研磨パッドにより研磨する場合を説明するが、これに限るものではなく、所謂、エッチング、電解(複合)研磨、超純水電解研磨においても、同様に導電性膜の膜厚測定を行ってプロセス制御することができる。また、導電性膜を除去する場合だけでなく、成膜工程においても、同様に導電性膜の膜厚測定を行って、そのプロセス制御を行ってもよいことはいうまでもない。

#### 【0102】

例えば、図17は、そのような基板研磨装置の構成例を示す。ベルト状研磨パッド41がローラ42、43により回転駆動され、トップリング(保持具)45に保持された研磨対象物(半導体ウェハ)が回転しつつ研磨パッド41に押圧される。研磨対象物の被研磨面は研磨パッド(研磨面)に摺接され、これにより研磨が進行する。トップリングの直下には、上記の渦電流センサを備えた支持体46が配置され、被研磨面の表面状態をモニタする。

#### 【0103】

また、図18は、上記の渦電流センサをめっき槽に配置した例を示す。めっき槽51には金属めっき膜を被着する半導体ウェハWが配置され、治具52に固定されている。治具52の内部にはセンサコイル202が配置され、コントローラ53に接続されている。コントローラ53には交流信号源および同期検波回路を備え、半導体ウェハW上に被着する金属めっき膜の膜厚を検出する。これにより、めっき膜の形成状況を非接触で確実に把握することができる。

## 【0104】

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことはいうまでもなく、例えば、基板研磨装置の基板保持装置や渦電流センサは、上述の図示例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0105】

【図1】本発明に係る渦電流センサを備える基板研磨装置の一実施形態を示す、(a)はブロック図であり、(b)は要部の拡大図である。

【図2】図1の研磨テーブル部分を示す平面図である。

【図3】渦電流センサによる磁束分布を示す図であり、(a)は渦電流センサが絶縁材料からなる研磨テーブルに埋め込まれた場合を示し、(b)は渦電流センサが導電性材料からなる研磨テーブルに埋め込まれた場合を示し、(c)は本発明の一実施形態である渦電流センサが高透磁性材料の収容部材に収容され、導電性材料からなる研磨テーブルに埋め込まれた場合を示す。

【図4】本発明の実施形態の渦電流センサが導電性材料(SUS)からなる研磨テーブルに埋め込まれた場合の特性(図中黒四角で示す)と、渦電流センサが絶縁性材料(SiC)からなる研磨テーブルに埋め込まれた場合の特性(図中黒菱形で示す)と、を対比して示すグラフである。

【図5】渦電流センサが絶縁性材料(SiC)からなるテーブルに埋め込まれた場合の特性と、渦電流センサが導電性材料(SUS)からなる研磨テーブルに埋め込まれた場合の特性と、を対比して示すグラフである。

【図6】本発明の他の態様のセンサコイル部分とその磁束分布を示す断面図である。

【図7】(a)は周波数タイプの渦電流センサの構成例を示すブロック図であり、(b)はインピーダンスタイプの渦電流センサの構成例を示すブロック図であり、(c)はその等価回路図である。

【図8】渦電流センサのセンサコイルの構成例を示す斜視図である。

【図9】図8のセンサコイルの接続例を示す回路図である。

【図10】(a)は、図9の等価回路図であり、(b)は、センサコイル $L_1$ と $L_3$ に生ずる電圧を示すベクトル図である。

【図11】センサコイル出力の同期検波回路を示すブロック図である。

【図12】電性膜の膜厚変化に伴う、インピーダンス座標面における抵抗成分(R)とリアクタンス成分(X)の円軌跡を示すグラフである。

【図13】導電性膜とセンサコイルとの間のギャップ(パッド厚)を変化させた場合のインピーダンス座標面における上記円軌跡の変化を示す図である。

【図14】Si基板のインピーダンス成分を位相回転によりキャンセルし、Tanの成分を拡大表示した場合を示す図である。

【図15】指定膜厚を検出するのに好適なアンプのゲインの設定方法を示す図である。

【図16】円弧長による膜厚計測方式を示す図であり、(a)はインピーダンス平面上の円弧長を示し、(b)は下地Si基板の導電性が相違する場合の円弧長C、Dを示す。

【図17】渦電流センサを備える基板研磨装置の他の実施形態を示す斜視図である。

【図18】渦電流センサを備える成膜装置の例を示す図である。

## 【符号の説明】

## 【0106】

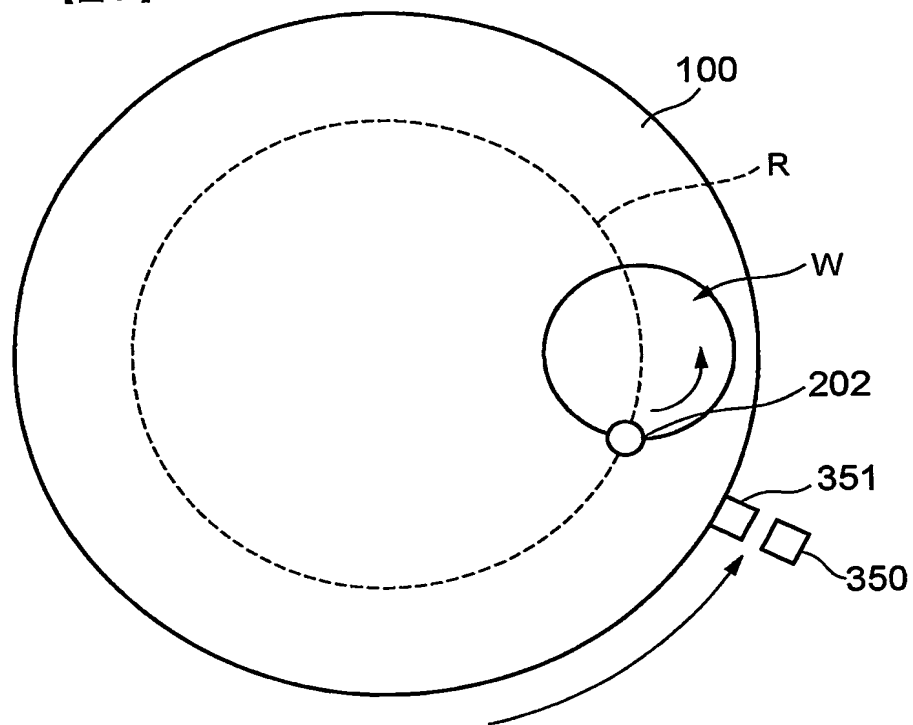
- 1 トップリング
- 100, 100' 研磨テーブル(研磨テーブル)
- 101 研磨パッド



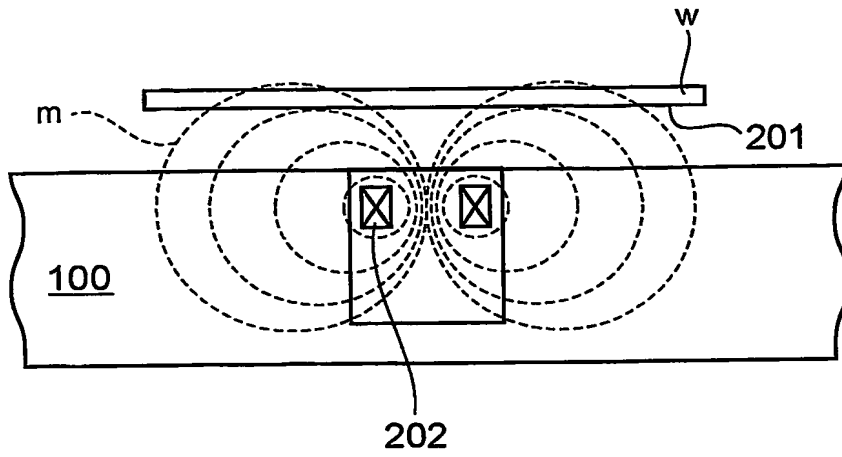
2 0 0 渦電流センサ  
2 0 0 a メインアンプ  
2 0 0 b 渦電流センサ本体のコントロール部  
2 0 1 導電性膜  
2 0 2 センサコイル  
2 0 3 交流信号源  
2 0 5 同期検波回路  
3 0 2 バンドパスフィルタ  
3 0 7, 3 0 8 ローパスフィルタ  
3 1 1 ボビン  
3 1 2 空芯コイル  
3 1 3 検出コイル  
3 1 4 バランスコイル  
3 1 6 可変抵抗  
3 1 7 抵抗ブリッジ回路  
3 2 1 a 支持軸  
3 3 4 ロータリジョイント  
3 5 0 ドグセンサ  
3 5 1 ドグ  
W 半導体ウェハ



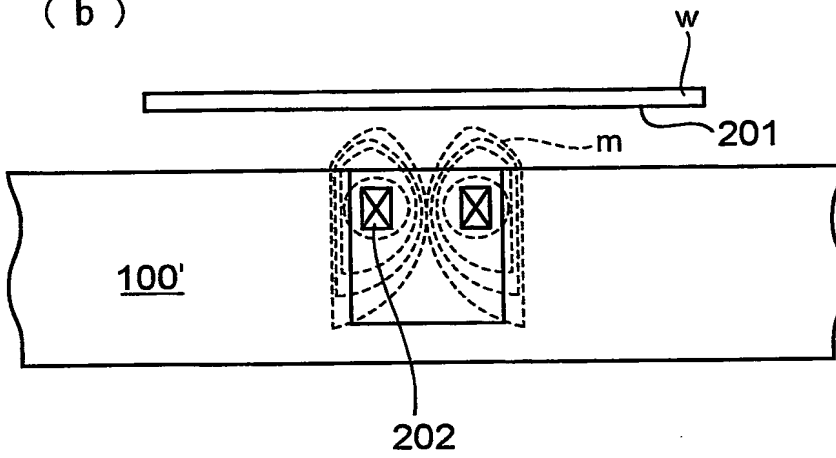
【図 2】



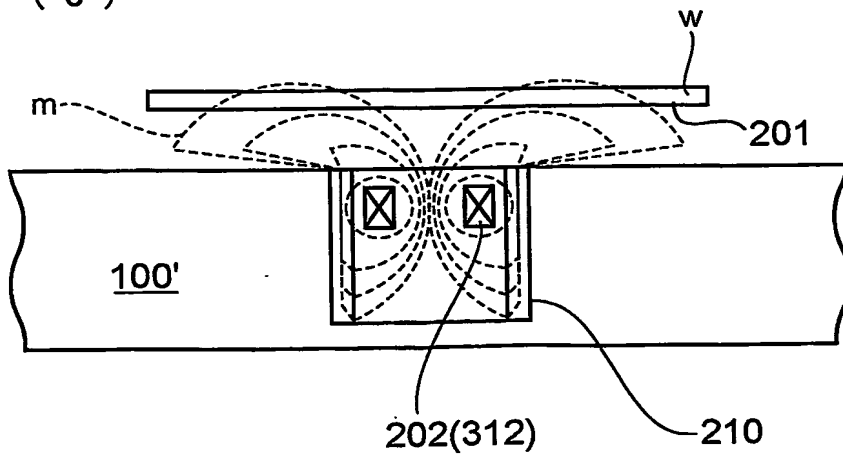
【図 3】  
( a )



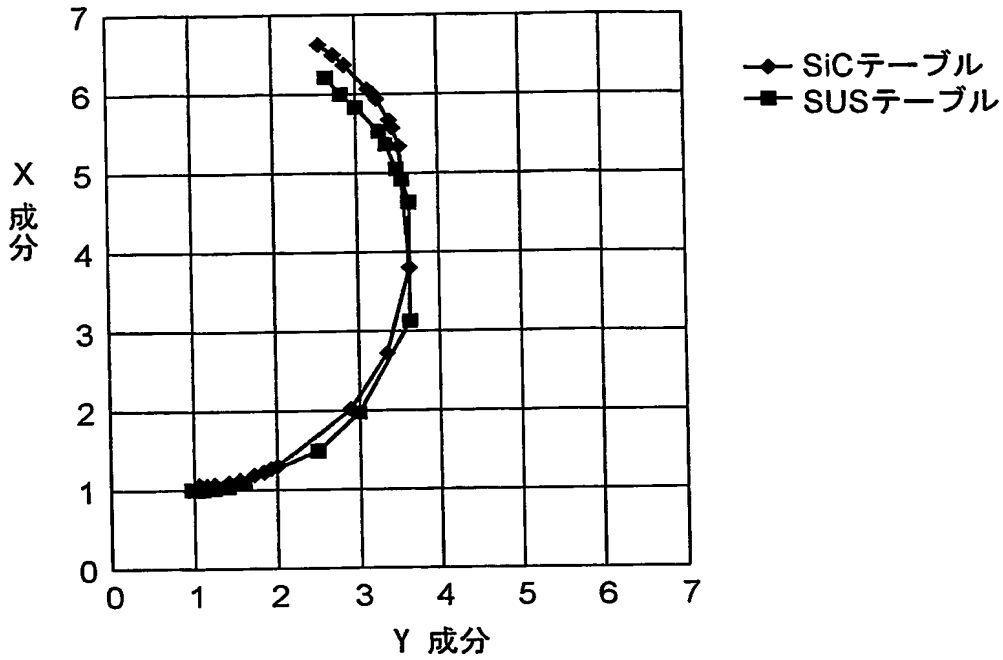
( b )



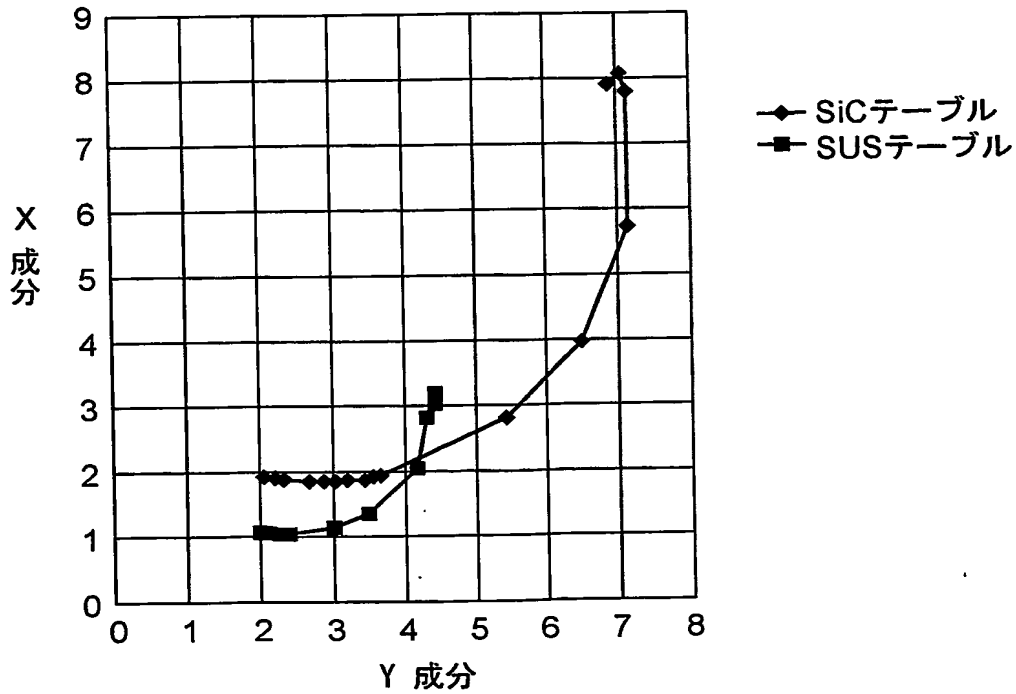
( c )



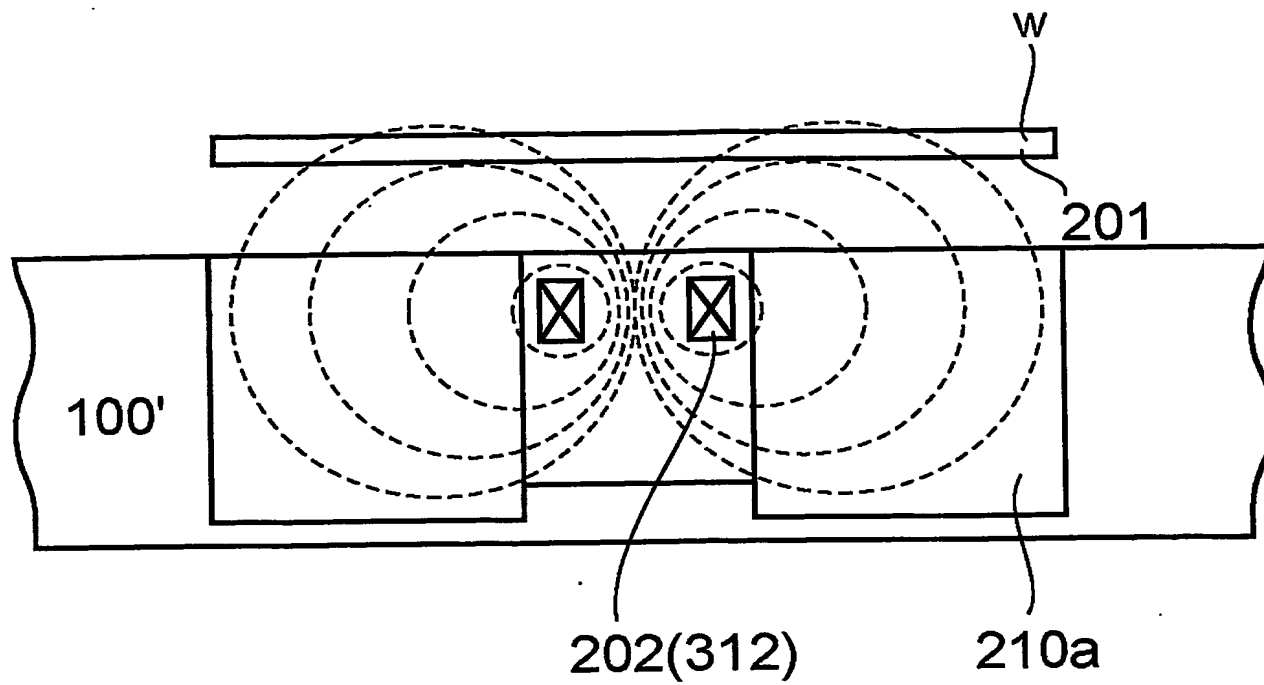
【図 4】



【図 5】

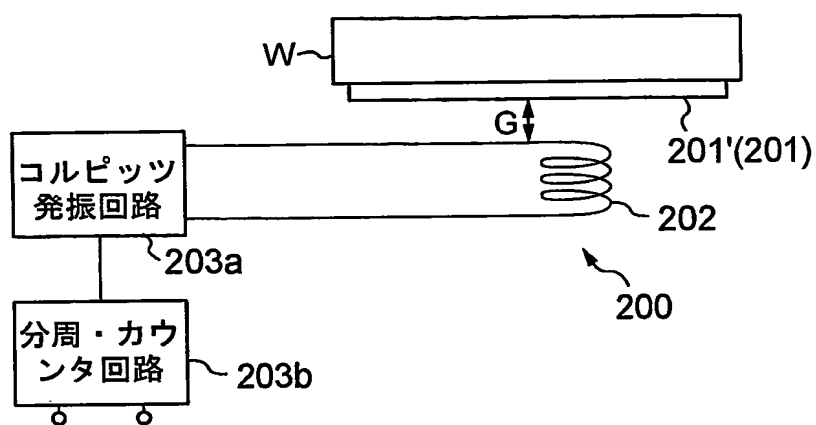


【図 6】

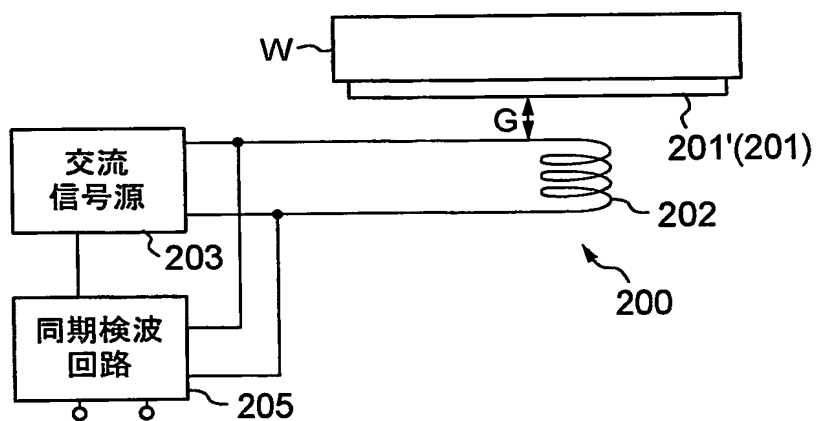


【図 7】

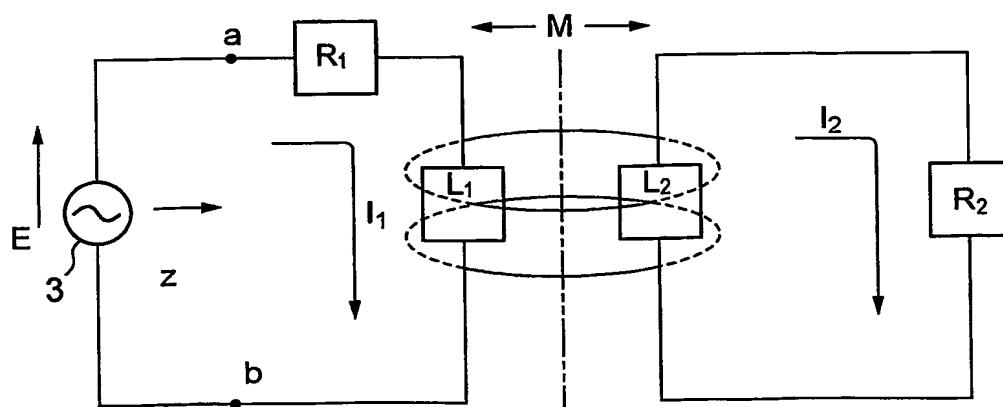
(a)



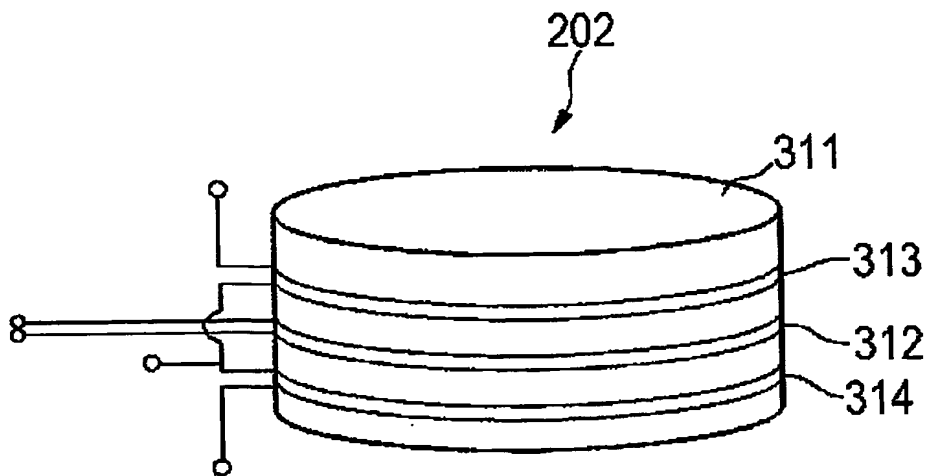
(b)



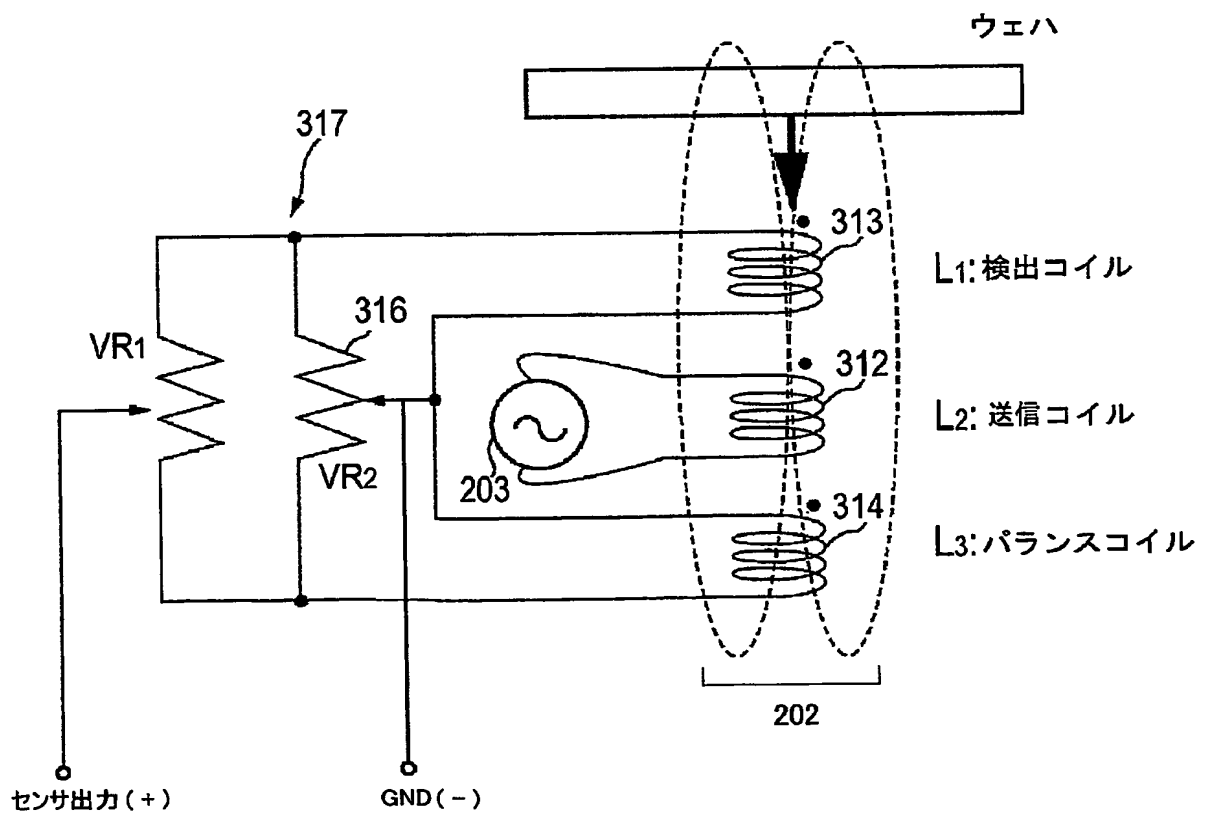
(c)



【図 8】



【図 9】

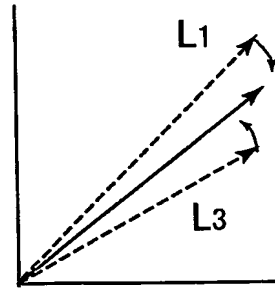
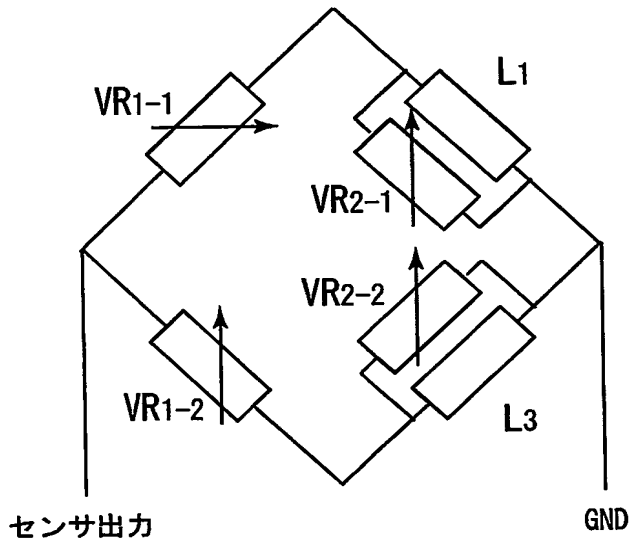




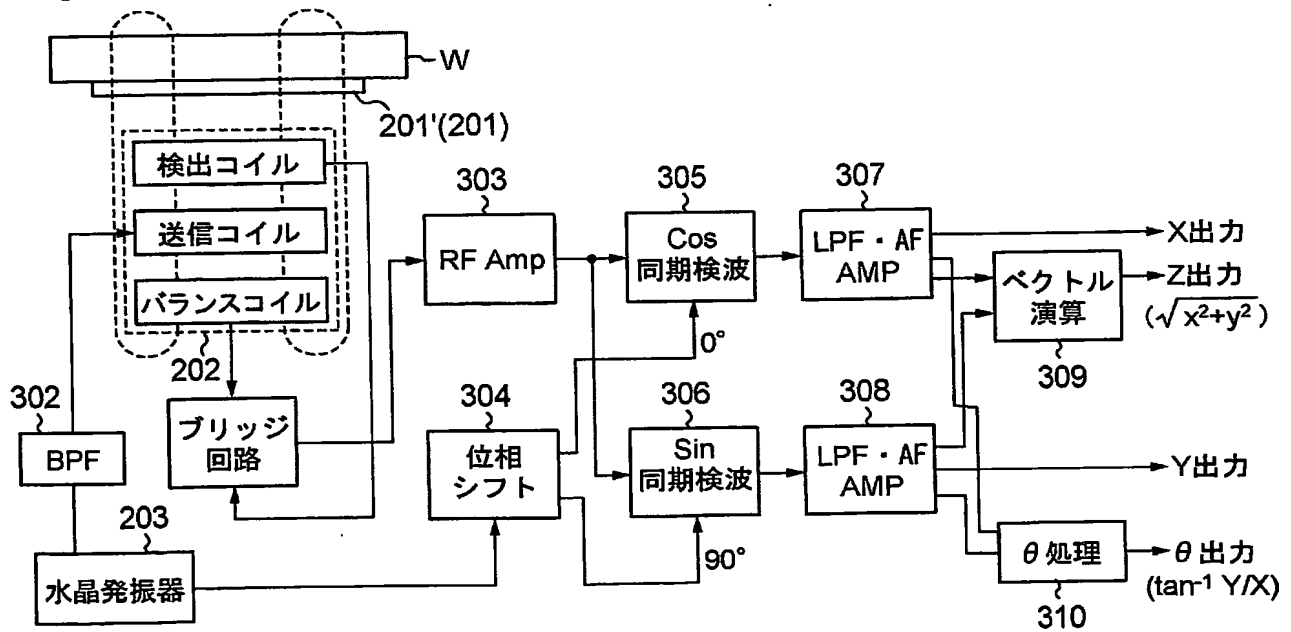
【図 10】

( a )

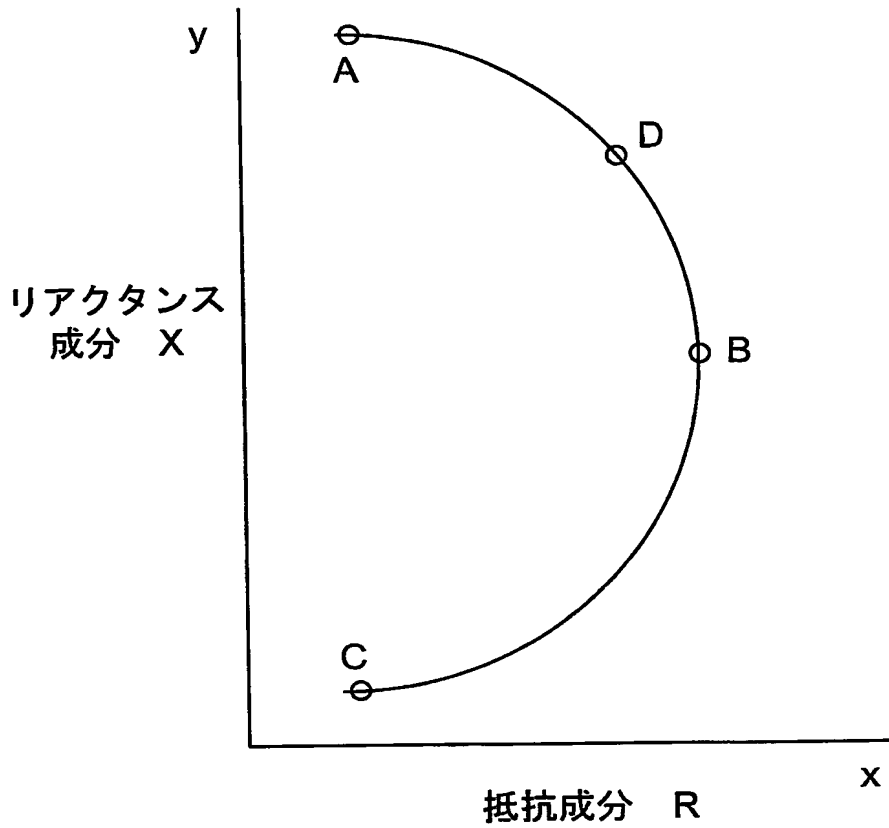
( b )



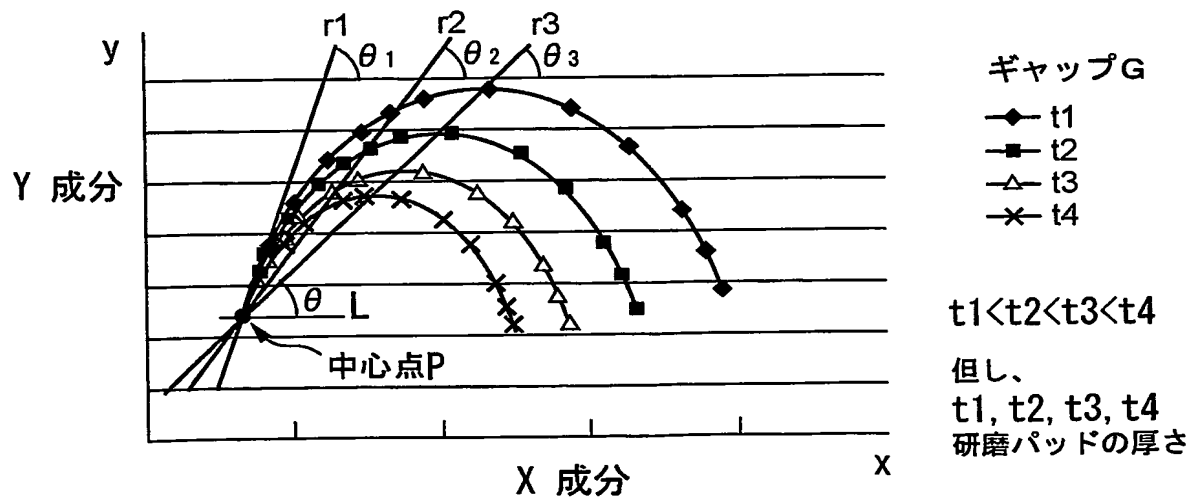
【図 11】



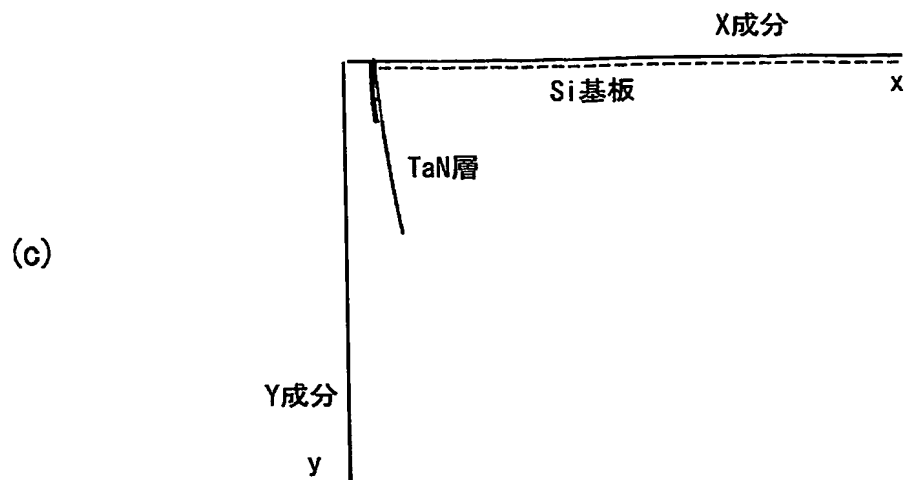
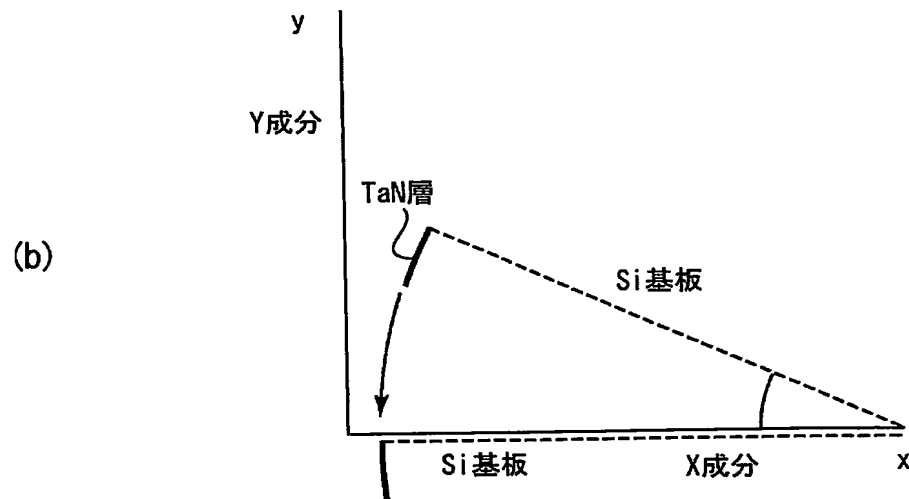
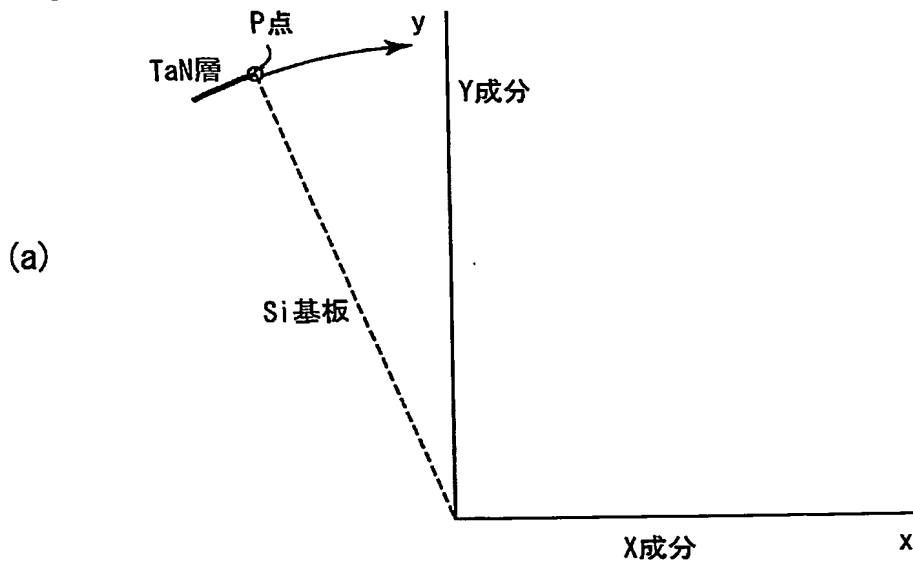
【図 12】



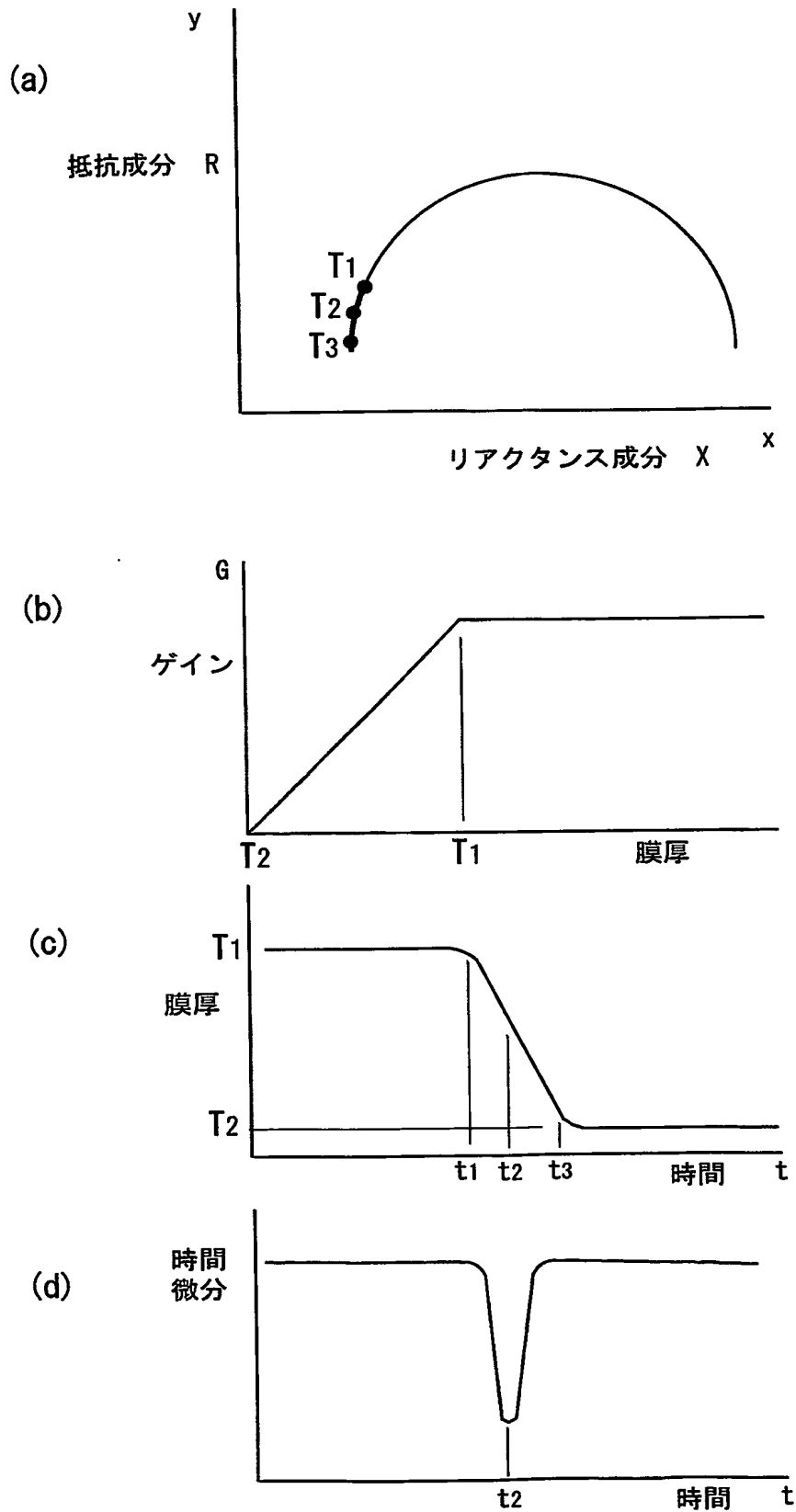
【図 13】



【図14】

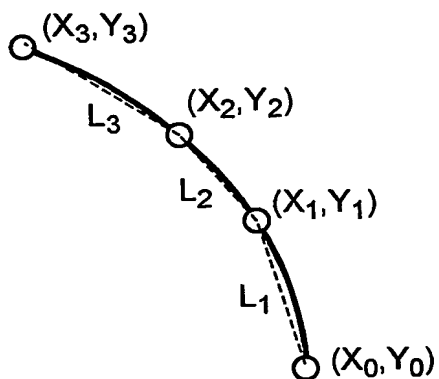


【図 15】

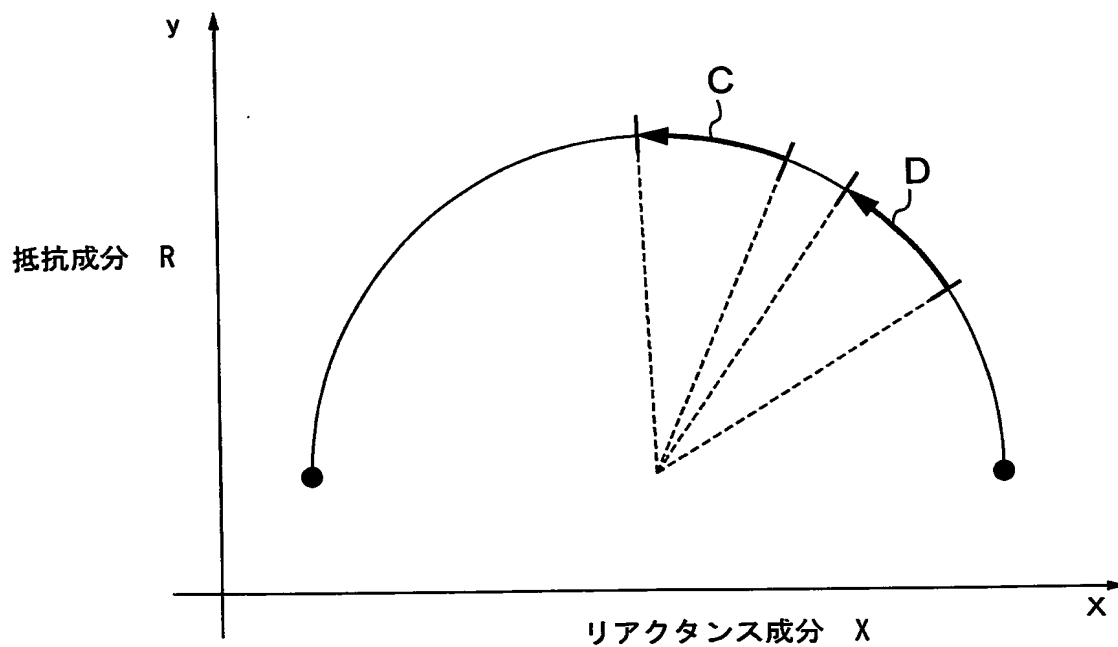


【図 16】

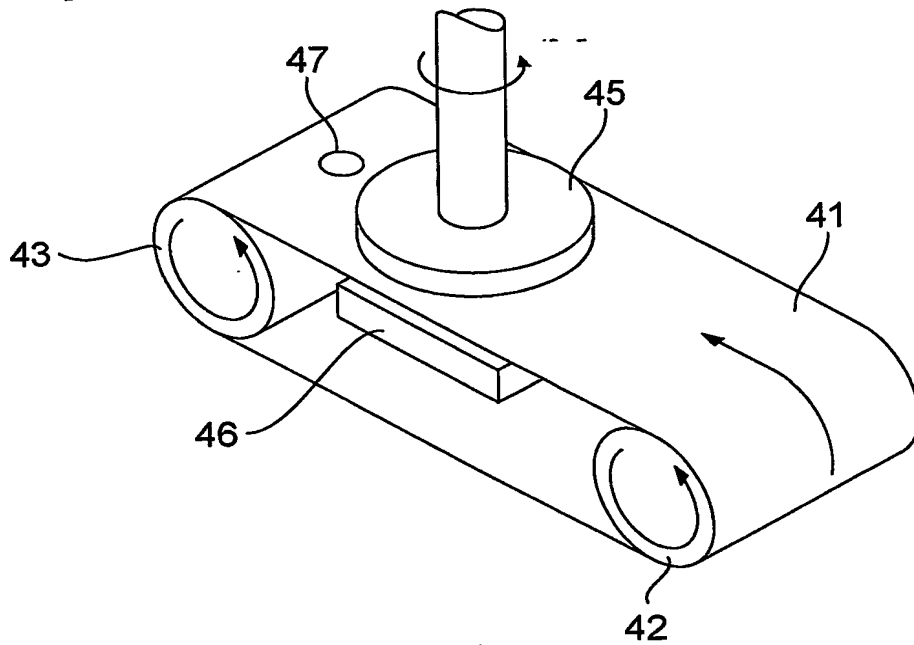
(a)



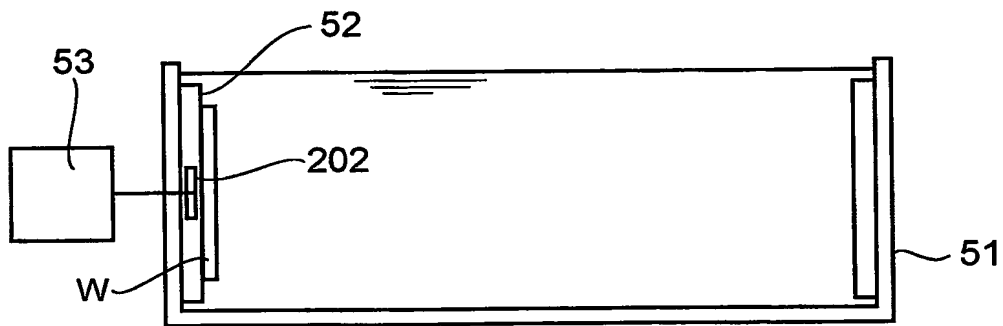
(b)



【図17】



【図18】



**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 測定環境の影響を受けることなく、簡易かつ迅速に、導電性膜の膜厚測定等を行うことができる渦電流センサを提供する。

**【解決手段】** 導電性膜または導電性膜が形成される基板の近傍に配置されるセンサコイルと、センサコイルに交流信号を供給して導電性膜に渦電流を形成する信号源と、導電性膜に形成された渦電流をセンサコイルにより検出する検出回路と、を備えた渦電流センサであって、センサコイルは、高透磁率材料を筒形状に形成した収容部材内に収容され、収容部材は、センサコイルが導電性膜に渦電流を発生させるのに有効な磁束の経路を構成する。また、インピーダンスの抵抗成分とリアクタンス成分とを直交座標軸上に表示し、インピーダンスの座標と指定された中心点の座標とを結ぶ直線の成す角度から導電性膜の膜厚を検出するようにした。

**【選択図】** 図 3

特願 2003-359938

出願人履歴情報

識別番号

[000000239]

1. 変更年月日

1990年 8月31日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区羽田旭町11番1号

氏 名

株式会社荏原製作所



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**